CENTRO NACIONAL DE EDUCACION A DISTANCIA ®

CURSO DE

BOBINADO Y REPARACIÓN DE MOTORES ELÉCTRICOS

ENVIO 5

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN, TOTAL O PARCIAL DE ESTA OBRA, POR CUALQUIER MEDIO O MÉTODO SIN AUTORIZACIÓN POR ESCRITO DEL EDITOR.
© TODOS LOS DERECHOS QUEDAN RESERVADOS.

BOBINADO DE MAQUINAS ELECTRICAS

Si bien los devanados de las máquinas de corriente alterna responden a los tipos imbricados o bien ondulados, consideramos a continuación las características principales respecto a la disposición que adoptan los mismos en las máquinas de corriente alterna monofásicas y trifásicas, con rotor en «jaula de ardilla» y con rotor bobinado.

Comenzamos por estudiar los bobinados de las máquinas asincrónicas con rotor en jaula de ardilla, o sea, en aquellas donde únicamente se debe bobinar el estator, debiéndose recordar que los factores que determinan la velocidad de giro, ya se trate de un motor un generador, son la cantidad de polos que contenga, por ese motivo creemos conveniente recordar algunos conceptos relativos a las mismas con el fin de facilitar el cálculo, proyecto, trazado y ejecución de los devanados correspondientes. Como sabemos, el número de polos depende directamente de dos factores, la velocidad de giro y la frecuencia de la corriente de la red de alimentación siendo el número de polos de las máquinas, determinado por la fórmula

$$p = \frac{120 \times f}{n}$$

en donde f es la frecuencia (generalmente 50 c/s) n la velocidad de la máquina en revoluciones por minuto, colocándose 120 en el numerador lo que indica que le número *p* será igual a la cantidad de polos y no de pares de polos. Para simplificar suele indicarse p = 6000/n ya que consideramos que la frecuencia será siempre de 50 ciclos por segundo.

Cabe aclarar que las expresiones señaladas se refieren a las velocidades sincrónicas, pues la velocidad de las máquinas asincrónicas es algo menor debido al resbalamiento. Sin embargo, para los cálculos de las máquinas de inducción el valor del resbalamiento no se tiene en cuenta, considerándose para el diseño de los bobinados las velocidades sincrónicas ya que el campo magnético del mismo gira con velocidad sincrónica alrededor de su eje.

Es importante tener en cuenta el número de ranuras que posee el núcleo del estator para alojar los conductores del bobinado ya que el número de ellas debe estar de acuerdo con el devanado a colocar, si se desea ocuparlas todas, como suele suceder. Pese a ello, existen devanados que no ocupan todas las ranuras del estator justamente por no cumplirse las condiciones citadas, tal como ocurre en el caso de motores para distintas velocidades, como pasaremos a considerar más adelante. El primer detalle es que el que relaciona el número de ranuras por polo y fase.

NÚMERO DE RANURAS POR POLO Y POR FASE

Es la cantidad que caracteriza el bobinado y que en la práctica puede alcanzar valores muy distintos, limitándose para los motores sincrónicos entre 2 y 8, para los del tipo distribuido. Dado que de ser una cantidad entera debe cumplirse la condición de que el resultado de dividir el número de ranuras por el de los polos y el de las fases debe ser un número entero, siendo la expresión utilizada: N/3p en donde N es el número total de ranuras que contiene el estator y *p* el número de polos. El número 3 que se ha incluido en el denominador, se utilizará en el caso de tratarse de bobinados para las máquinas trifásicas. El resultado que se obtiene de la expresión anterior, nos dará el número de ranuras a utilizar por cada arrollamiento que componga un polo y fase.

Sabiendo que el número de polos está ligado a la velocidad de giro de la máquina, puede confeccionarse una tabla que nos permita conocer por anticipado la relación anterior en los casos más comunes en la práctica; en efecto, los números de ranuras más comunes en la práctica son generalmente pares y desde 12 a tratándose de máquinas de potencias chicas y medianas ya que un número menor no es práctico y mayor es poco frecuente, salvo en caso de máquinas especiales.

En la tabla correspondiente a la figura 1, se indica la posibilidad de realización de los bobinados para que los mismos ocupen la totalidad de la cantidad de ranuras, para algunos casos comunes. Este detalle es sumamente importante, pues bien no es lo único necesario para el cálculo y trazado de un bobinado, resulta imprescindible para saber si pueden utilizarse la totalidad de ranuras del estator.

Por ejemplo, si tomamos un estator que no está encuadrado dentro de las condiciones indicadas en la tabla, deberá realizarse la el bobinado sin ocupar todas las ranuras del estator, dejando libres algunas en una cantidad igual al excedente de las que tiene y el número inmediato sobre el indicado en la tabla que reúna las condiciones, dado el caso de un estator con la cantidad de ranuras igual a 42, de una máquina bipolar, vemos que tiene total ocupación de las ranuras. Pero si se lo quiere bobinar como máquina tertrapolar, observamos que ello no es posible según nuestra tabla, por cuyo motivo habrá que dejar 6 ranuras vacías, distribuidas uniformemente en la periferia, pues son necesarias solamente 36 para lograr un devanado tetrapolar.

Nº de ranuras	p = 2 n = 3000	4 1500	6 1000	8 750	10 600	12 500
12	si	si	no	no	no	no
18	si	no	si	no	no	no
24	si	si	no	si	no	no
30	si	no	no	no	si	no
36	si	si	si	no	no	si
42	si	no	no	no	no	no
48	si	si	no	si	no	no
54	si	no	si	no	no	no
60	si	si	no	no	si	no
66	si	no	no	no	no	no
72	si	si	si	si	no	si
78	si	no	no	no	no	no
84	si	si	no	no	no	no
90	si	no	si	no	si	no

FIGURA 1 - BOBINADOS TRIFASICOS, POSIBILIDAD DE REALIZACION OCUPANDO LA TOTALIDAD DE RANURAS DEL ESTATOR.

En forma similar se resolverán todos los casos que se presenten algunos de los cuales serán debidamente aclarados al ocuparnos de ellos en forma específica. Considerando este aspecto de real importancia, previa ejecución de devanado, pasamos a considerar los tipos de bobinados más frecuentes.

TIPOS DE BOBINADOS

Se pueden dividir en dos grandes grupos denominados concentrados y distribuidos. El bobinado concentrado consiste alojar un solo lado de bobina por ranura y por fase, como ser, para una máquina trifásica bipolar, habría solamente seis ranuras con tres bobinas alojadas en las mismas, esta disposición ha quedado prácticamente fuera de uso. Los devanados distribuidos, prácticamente utilizados en todos los casos, son aquellos en que las bobinas se reparten en varias ranuras por polo y por fase.

La razón de la muy limitada utilización de los devanados concentrados, reside en que su resultado se traduce en pésimo aprovechamiento de la periferia del estator quien necesitaría grandes dimensiones para poder alojar en una ranura las bobinas necesarias por polo y por fase.

A esto se le agrega una deformación del campo magnético a lo largo del entrehierro dando lugar a la formación de ondas indeseables que deforman la corriente de salida, situación que se establece por ejemplo en el caso de los alternadores. Siendo la ventaja de un devanado concentrado la de suministrar una fuerza electromotriz un poco más elevada que en el caso de los distribuidos, esta única condición no compensa de ninguna manera el aumento de dimensiones de la máquina por las razones recién indicadas.

Por ese motivo nos ocuparemos únicamente de los devanados distribuidos por ser los que se utilizan actualmente en la práctica. Dentro de los devanados distribuidos, se distinguen tres sistemas principales de acuerdo a la forma de ejecución, en cadena, imbricado o de bobinado de barras, las características principales de dichos sistemas las consideramos a continuación.

BOBINADO EN CADENA

Este tipo de bobinado se lo conoce también con el nombre de bobinado de «cabezas distintas» porque las bobinas no son iguales entre si, sino que las hay más cortas y más largas con el fin de poder acomodar los cruces en las cabezas frontales. Dentro de los devanados en cadena los hay con bobinas de dos dimensiones solamente o de tres dimensiones distintas. En la figura 2 puede apreciarse los dos tipos de devanados en cadena mencionados.

Los devanados de esta naturaleza se ejecutan de manera tal que el reparto de conductores en la periferia del estator es muy regular con lo que se obtiene que el factor potencia y el rendimiento de la máquina sean muy superiores a los de otros tipos devanados. Un detalle interesante es que las ranuras no deben ser de dimensiones demasiado grandes ya que simplemente deben alojar un solo lado de bobina, siendo el resultado una máquina de reducidas dimensiones y muy buen aprovechamiento del núcleo. Su empleo se extiende a todos los generadores que utilizan devanados de bobinas (como veremos hay otros) como así también en los motores de potencias reducidas cuando no interesa mayormente el costado de fabricación. Para mayor claridad, en la figura 3 se ha representado un bobinado en cadena con cabezas en dos planos.

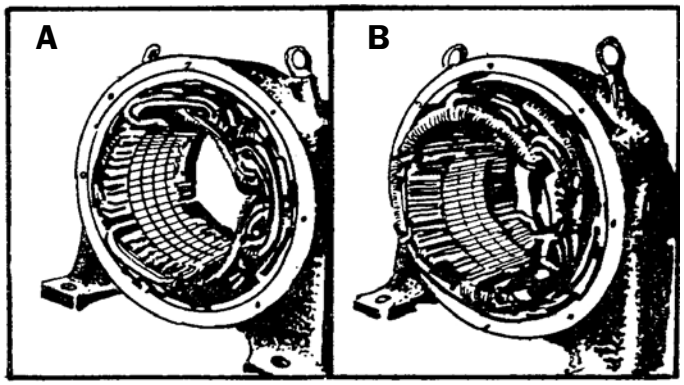


FIGURA 2 - A) CABEZAS EN DOS PLANOS. B) CABEZAS EN TRES PLANOS.

FIGURA 3 - SECTOR DE UN ESTATOR CON BOBINADOS EN CADENA.

BOBINADO IMBRICADO O DE BOBINAS IGUALES

Estos bobinados presentan un aspecto similar a los utilizados en máquinas de corriente continua por ese motivo se los llama imbricados.

Una de las ventajas de este tipo de arrollamiento consiste en que al ser iguales todas las bobinas, permite la ejecución de las mismas en moldes abaratando de esta manera el costo de la ejecución. Las bobinas son de forma romboidal o trapezoidal, pudiéndose hacer de una sola capa siempre que el número de ranuras así lo permita.

La diferencia entre un arrollamiento en cadena y uno imbricado está en que en estos últimos resultan mejor ventilados lo que posibilita llegar a intensidad algo mayores a 4 Amper por mm^2 aprovechando mejor el cobre, además como apuntáramos anteriormente resultan de un costo inferior de mano de obra, lo que los hace ideales para la fabricación en serie. La desventaja que presentan ante los bobinados en cadena es que su rendimiento es algo menos, como así también su factor de potencia sin embargo, por no ser de gran importancia estas diferencias se adopta por lo general este tipo de construcción para la ejecución de devanados de máquinas de potencias no muy elevadas.

Una variante más importante radica en el hecho de que el núcleo debe tener mayores dimensiones ya que necesita ranuras de mayor profundidad que en el caso de los devanados en cadena.

BOBINADOS DE BARRAS

Los llamados bobinados de barras se usan mayormente en los estatores de máquinas que utilizan bajas tensiones o bien en rotores de motores asincrónicos; consiste básicamente en reemplazar los arrollamientos formados por una «barra» única alojada en cada ranura, haciéndose las conexiones frontales mediante trozos de cobre en barra en la forma adecuada, tal como puede observarse en la figura 4. Estos tipos de devanados pueden presentarse en forma de «doble barra», empleándose generalmente los primeros para los estatores y los de doble barra para los motores. La forma de ejecutar el bobinado de barras es por regla general como el tipo ondulado de corriente continua, o sea, con avances progresivos a lo largo del mismo, cumpliendo en muchos casos, varios recorridos del paso polar antes de conectarse nuevamente.

Conocidos los tipos de devanados más utilizados en la práctica para máquinas de corriente alterna, estudiaremos a continuación el desarrollo de los tipos descriptos en forma detallada con el fin de brindar un ejemplo de cada tipo y lograr de esta manera la imprescindible familiarización de los mismos, comenzando por analizar los correspondientes a las máquinas trifásicas.

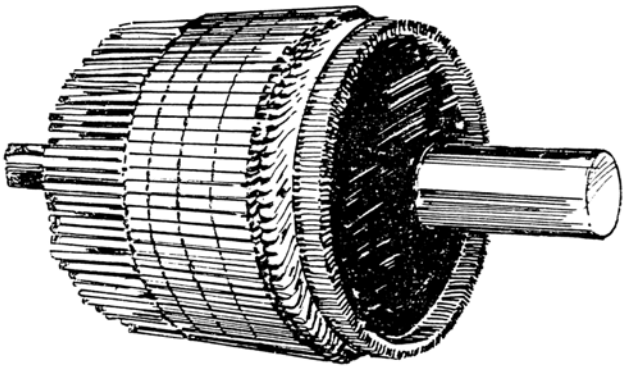


FIGURA 4 - BOBINADO DE BARRAS DE UN ROTOR DE MOTOR TRIFASICO.

BOBINADOS TRIFÁSICOS EN CADENA

Tal como lo hiciéramos para las máquinas de corriente continua, para diseñar el bobinado deberá establecerse con exactitud el «paso», para conectar entre sí los lados de bobina, los puentes para hacer las conexiones frontales de las bobinas y las entradas y salidas de corriente, la forma de conectarlas entre sí y también con la red de alimentación, para conectar el conjunto del devanado.

Comencemos por el paso del bobinado, definiendo, previamente como paso polar a la cantidad de ranuras que corresponde a dividir la cantidad total que contiene el estator por la cantidad de polos de la máquina. Por ejemplo, para una máquina tetrapolar, de 36 ranuras se tendrá un paso polar igual a nueve, ya que

$$\text{paso polar} = \frac{36}{4} = 9$$

El paso del bobinado en los tipos «en cadena» si fueran concentrados serían igual al paso polar, pero tratándose de «distribuidos» solamente una o ninguna bobina tiene exactamente el paso polar, y se considera entonces el paso medio del bobinado, que en esa condición es igual al paso polar. Para dejar más claro explicado, observemos la figura 5, en la misma se ha considerado un estator de 36 ranuras y cuatro polos. Lo primero que haremos, será consultar con la tabla de la figura 1 para saber si el bobinado ocupará todas las ranuras del estator. Siendo el paso polar igual a 9, la cantidad de ranuras por polo y fase se determina

$$\frac{\text{Nro de ranuras}}{3 \times p} = \frac{36}{3 \times 4} = \frac{36}{12} = 3$$

de manera tal que las nueve ranuras de cada polo, será agrupadas de tres en tres, correspondiendo tres para cada fase y así, con los demás polos imaginarios que no muestran en la figura.

Siendo el paso del devanado igual a 9, en término medio se toma la bobina que está en le medio de las tres (Nº 2) que corresponde a la fase 1, cumpliéndose con ella el paso 9, o sea, deberá unirse a la que se encuentra alojada en la ranura 11. La ubicada en la ranura 1, se conecta a la 12 y la 3 con la 10, habiéndose obtenido los pasos 11 para la bobina Nº 1, 9, para la bobina número 2 y 7 para la Nº 3, tal como puede apreciarse en la figura 5, en la cual se ha señalado con la letra «y» el paso polar medio. Aparentemente se podría haber unido la bobina 1 con la 10, la 2, con la 11 y la 3 con la 12, pero ello hubiera dado como resultado conexiones cruzadas que complican el proceso sin ningún beneficio.

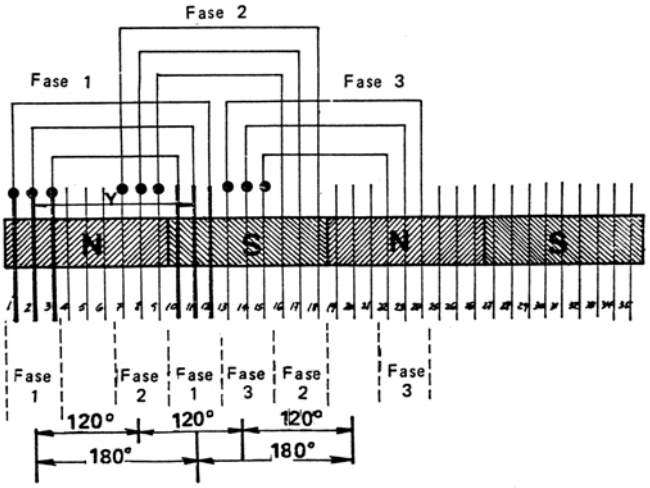


FIGURA 5 - EJECUCION DE UN BOBINADO EN CADENA.

Paso de fase:

Las tres fases del devanado deben estar desplazadas entre sí, 120º eléctricos, o sea la tercera parte de un ciclo de corriente alternada, sabiendo que el mismo tiene 360º, que traducido a la práctica significa que deben esta alojadas en la periferia del estator en un ángulo igual que el defasaje existente.

En una máquina bipolar, para el devanado distribuido en la periferia del estator, se cumple que durante una vuelta completa del campo la corriente inducida ha completado un ciclo, de manera que los desplazamientos geométricos coinciden exactamente con los defasajes eléctricos. De esto se deduce que bastará separar a las tres fases de una tercera parte del desarrollo del estator para tener defasajes de 120º.

Para ello, en nuestro caso, se debería haber desplazado la fase 2 de un tercio del total de ranuras, o sea las ranuras para nuestro ejemplo representado en la figura 5, con lo que la fase 2 comenzaría en la ranura 13 y la 3 en la ranura 25; imposible de hacer por tratarse de una máquina tetrapolar.

En las máquinas multipolares, durante toda una vuelta del campo magnético se cumple más de un ciclo de la corriente inducida, pues en la de cuatro polos, por ejemplo, al dar una vuelta el rotor se tienen dos ciclos completos, en la de seis polos, se tendrán 3 ciclos completos, etc., y en general, en máquinas de *p* polos la cantidad de ciclos completos por vuelta será: 1/2 *p* o sea, la mitad del número de polos, de manera tal que los grados eléctricos serán iguales a los grados geométricos multiplicados por 1/2 *p*, tal como lo indica la siguiente expresión:

grados eléctricos = 1/2 p x grados geométricos

En nuestro ejemplo de la figura 5, se tiene que 1/2 *p*, es igual a 2, lo que permite decir que los grados geométricos serán igual a la mitad de los eléctricos.

En definitiva se tomará la distancia igual a la mitad que la correspondiente a una máquina bipolar, tomando entonces 6 ranuras como paso de fase, en lugar de 12, de manera tal que la fase 1 comience en la ranura 1, la fase 2 en la ranura 7 y la fase 3 en la ranura 13, tal como se muestra en la figura. En resumen, para calcular el paso de fase debe emplearse la fórmula:

$$\text{Paso de fase} = \frac{2\,N}{3\,p}$$

El resultado nos indicará el número de ranuras que separan entre sí las bobinas de cada fase, cualquiera se a el número de polo y de ranuras.

Aplicando la fórmula anterior en nuestro ejemplo, vemos que, con 36 ranuras y 4 polos, el paso de fase será

$$\text{Paso de fase} = \frac{2 \times 36}{3 \times 4} = \frac{72}{12} = 6$$

que es justamente el paso que hemos utilizado.

Para finalizar con nuestro ejemplo elemental, se tomarán tres ranuras, las 7, 8 y 9 para las fase 2 uniéndolas con las que se encuentren separadas de ellas una cantidad de ranuras igual al paso polar, en término medio, es decir, con los números 16, 17 y 18 en la forma representada en la figura 5. De igual manera se ha procedido para la realización de la fase 3 y las que faltan de las fases 1 y 2.

Puede apreciase en la figura que se han marcado los defasajes eléctricos que corresponden a media vuelta del rotor como así también las distancias polares eléctricas, ya que las geométricas son de 90º para las máquinas de cuatro polos.

Ejemplos de bobinados en cadena:

Dados los ejemplos elementales procederemos a continuación al trazado de un devanado en cadena para una máquina de dos polos, con cabezas en tres planos.

Datos:

Nº de ranuras = 24

Velocidad n = 3000 r.p.m

El trazado se representa en la figura Nº 6.

Proceso:

Se comenzará por marcar los 24 lados de bobina o de ranura numerándolos, calculándose a continuación los valores característicos comentados en nuestro ejemplo anterior.

Ranuras por polo y por fase

$$\frac{24}{2 \times 3} = \frac{24}{6} = 4$$

Tomaremos los números 1 - 2, 23 - 24 para la fase, polo sur, ya que deben estar distanciadas del paso las dos series de ranuras.

$$\frac{\text{Nro de ranuras}}{p} = \frac{24}{2} = 12 \text{ ranuras}$$

que justifica fehacientemente la distancia tomada entre los grupos de ranuras correspondiente a la fase 1.

Otra forma de disponer las bobinas con igual resultado consiste en hacer cuatro rectángulos concéntricos que representarían las cuatro bobinas de la fase 1, pero resultaría un trazado demasiado largo, razón por la cual repartimos la mitad para cada lado, uniendo la 1 con la 12, la 2 con la 10, la 13 con la 24 y la 14 con la 23, con lo que se termina la fase 1.

Paso de fase:

$$\text{Paso de fase} = \frac{\text{Nro de ranuras}}{3 \times p} = \frac{36}{3 \times 4} = \frac{36}{12} = 3$$

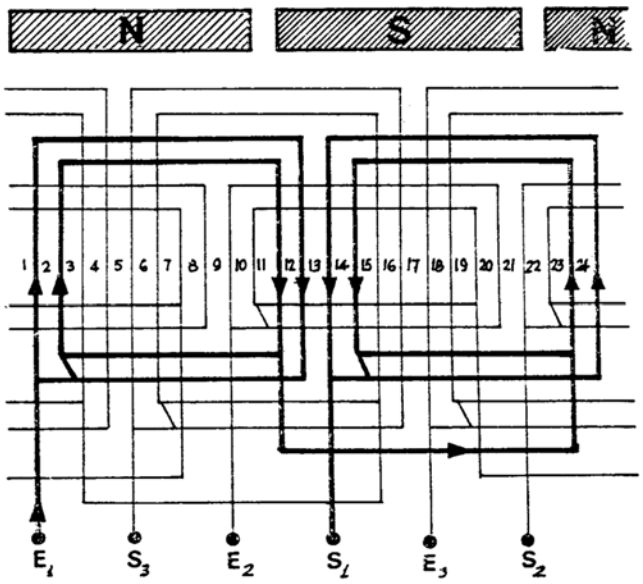


FIGURA 6 - BOBINADO DE DOS POLOS CON CABEZAS EN TRES PLANOS.

es decir que si la entrada de la fase 1 se encuentra en la ranura Nº 1, la correspondiente al fase 2, debe estar 8 ranuras más adelante, o sea, en la ranura Nº 9, mientras la perteneciente al fase 3 estará en la ranura Nº 17, tal como se indica en el trazado de la figura 6.

De igual manera se cumple lo relativo a la salida de las bobinas, como ser: la salida de las bobinas, como ser: la salida de la fase 1, está ubicada en la ranura Nº 13 de la fase 2, en la ranura Nº 21 y la correspondiente a la fase 3 en la ranura Nº 29, habiendo solamente 24 ranuras en el estator, la salida se efectuará por la ranura Nº 5. A continuación se efectuará el trazado corres-pondientes a las fases 2 y 3 separándola en dos grupos, tal como se procedió al trazar la fase Nº 1 y colocando las cabezas en tres planos, tal como se detalla claramente en la figura.

Conexiones frontales:

Para que haya continuidad de circulación de corriente, la conexión de los grupos de bobinas (dos bobinas cada grupo en este caso) debe hacerse de manera tal que la corriente no encuentre direcciones contrarias en su recorrido de forma que, entrando por le lado de bobina Nº 1, pasamos al lado de bobina Nº 12, que está ubicado debajo del oto polo, y de allí pasamos al lado Nº 2, por el puente interno y de este al lado de bobina Nº 11.

Resulta evidente que del lado Nº 11 no podemos pasar al Nº 13 porque los sentidos de las corrientes se «encontrarían», por ese motivo deberá realizarse la conexión con el lado de bobina Nº 23; para pasar de este lado al 14, de ahí al 24 por le puente interno y del 24 al 13, por donde se saca el cable de salida S1.

Por supuesto, estos sentidos de corriente se mantienen durante el otro medio ciclo, lo hacen simultáneamente en todos los conductores, de manera tal que no se alteran las condiciones de circulación. Similares consideraciones nos permiten efectuar las conexiones frontales de las fases 2 y 3 entre los conductores (en realidad terminales de las bobinas) Nº 19 y 7 la correspondiente a los Nº 3 y 15.

Se finaliza de esta manera el trazado del bobinado, que resulta en tres planos de cabezas por ser de dos polos. Con respecto a la polaridad magnética, cabe comentar que si bien no tiene mayor significado en el caso de un motor asincrónico, se prestan perfectamente bien para facilitar el trazado del bobinado. Un detalle práctico que podemos agregar es que se han indicado las bobinas como si estuvieran constituidas por una sola espira, pero en realidad están formadas por un haz de espiras concéntricas y encintadas for-mando «un paquete».

A los efectos de una mejor interpretación de los trazados de estos tipos de devanados, señalamos a continuación tres ejemplos ilustrados correspondientes a bobinados de cuatro polos con cabezas en dos planos, tal como el representado en la figura 7, en donde se considera un estator de 24 ranuras, para 1.500 r.p.m tomando como datos:

- Ranuras por fase 2
- Paso polar - 6
- Paso de fase 4 ranuras.

En la figura se ha representado un bobinado de cuatro polos con cabezas en tres planos,

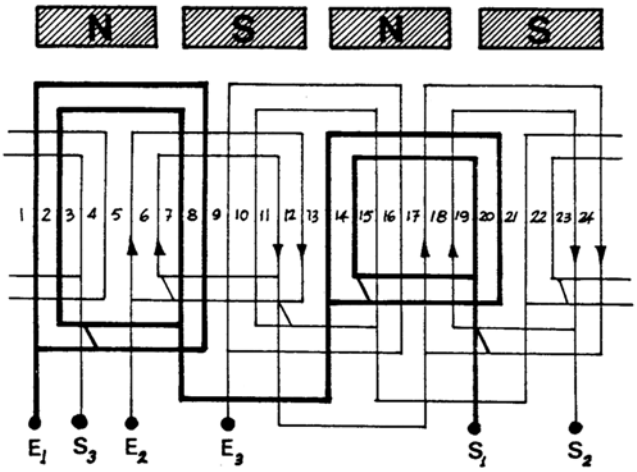


FIGURA 7 - BOBINADO DE CUATRO POLOS CON CABEZAS DE DOS PLANOS.

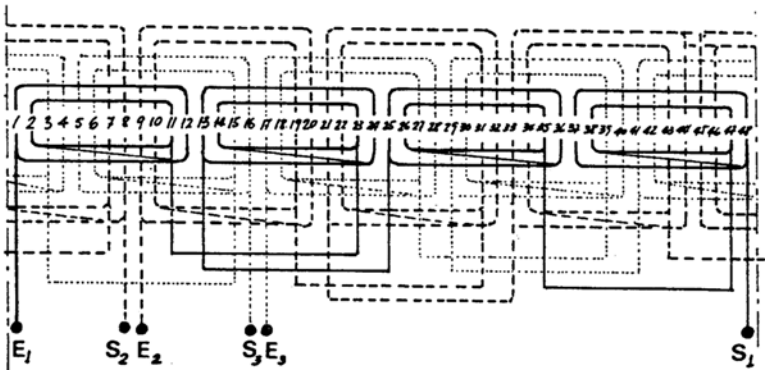


FIGURA 8 - BOBINADO DE CUATRO POLOS CON CABEZAS DE TRES PLANOS.

siendo las ranuras por polo y por fase = 4, el paso polar = 12 y el paso de fase = 8.

Completamos los ejemplos con el esquema de la figura 9 en el que se observa un bobinado de seis polos con cabezas en dos planos que responde a los siguientes datos: Ranuras por polo y fase- paso polar 6 y paso de fase 4.

Conexiones a la caja de bornes:

Todos los devanados trazados hasta el momento, responden a distintas características en lo que respecta al número de polos, de ranuras o a las formas y tamaños de las bobinas que tenían en cada fase una entrada y una salida.
Terminados los trazados, con los correspondientes puentes internos y los de interconexión entre grupos de bobinas, debe conectarse a la red de alimentación, pero esto se hace utilizando una caja de bornes para evitar que queden cables sueltos de los terminales correspondientes.

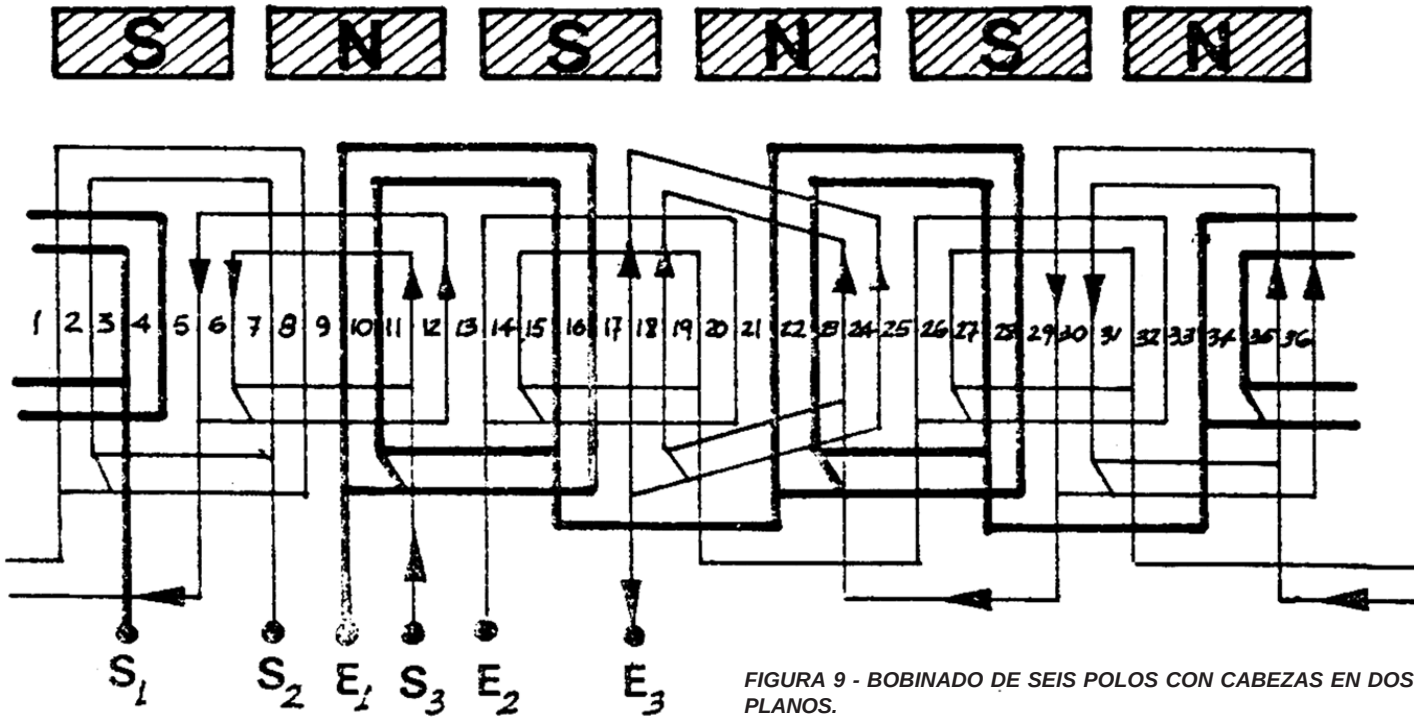


FIGURA 9 - BOBINADO DE SEIS POLOS CON CABEZAS EN DOS PLANOS.

BOBINADOS TRIFÁSICOS IMBRICADOS

Con referencia a los bobinados trifásicos imbricados, podemos decir que pueden encontrarse devanados de una o de dos capas, en este último caso, cada bobina está ubicada de forma tal que uno de sus lados se encuentra en la parte superior de una ranura y el otro lado en le fondo de otra ranura.

Cabe aclarar que le aspecto físico de la bobina, puede ser trapezoidal o romboidal una vez ubicada en las ranuras correspondientes, aunque al construir el arrollamiento es conveniente para su posterior colocación darle forma circular o también en óvalo.

Paso del bobinado

En este caso se acostumbra tomar un paso de bobina levemente inferior al paso polar, de esta forma se consigue una apreciable economía en cobre ya que las cabezas de bobina son más cortas el inconveniente que esta disposición presenta, es despreciable ya que la fuerza electromotriz inducida se reduce muy poco como consecuencia de haber reducido el paso quien resulta ser generalmente una sexta parte menor que le paso polar.

Desde el punto de vista práctico, es interesante considerar que no en todos los casos al quitar una sexta parte al paso polar se logra un número entero, por ese motivo si el resultado contiene decimales, se redondea el valor obtenido llevándolo al número entero menor. Por ejemplo, si se tratara de un motor de 36 ranuras y lo queremos bobinar para cuatro polos, el paso polar resulta ser

$$\text{Paso polar} = \frac{\text{Nro de ranuras}}{\text{Nro de polos}} = \frac{36}{4} = 9$$

para calcular el paso de bobina, es necesario restar al paso polar un sexto de su valor, o sea, 9 - 15 = 7,5. De acuerdo a lo indicado adoptamos como paso de bobina, 7 ranuras.

Paso de fase:

Con referencia a la obtención de este dato, se procede en igual forma que en bobinados en cadena considerados anteriormente.

Ejemplos de bobinados imbricados:

A continuación, desarrollaremos el trazado de un bobinado imbricado de acuerdo a los siguientes datos: 24 ranuras - 4 polos.

Comenzaremos por trazar 24 lados de bobina en forma alternada, uno más largo y otro más corto como se observa en la figura 10 debiendo posteriormente numerados de 1 a 24.

Para efectuar el trazado debemos previamente calcular ciertos datos, comenzaremos como en le ejemplo anterior por calcular la cantidad de ranuras por polo y fase

1) ranuras por polo y fase

$$\frac{24}{3 \times 4} = 2 \text{ ranuras por polo y fase}$$

2) paso polar

$$\frac{24}{6} = 6 \text{ ranuras}$$

3) Paso de bobina. De acuerdo a lo explicado el paso de bobina debe ser una sexta parte menor que el paso polar, dado que la sexta parte de 6 (paso polar) es 1, el paso de bobina resulta ser 6 - 1 = 5

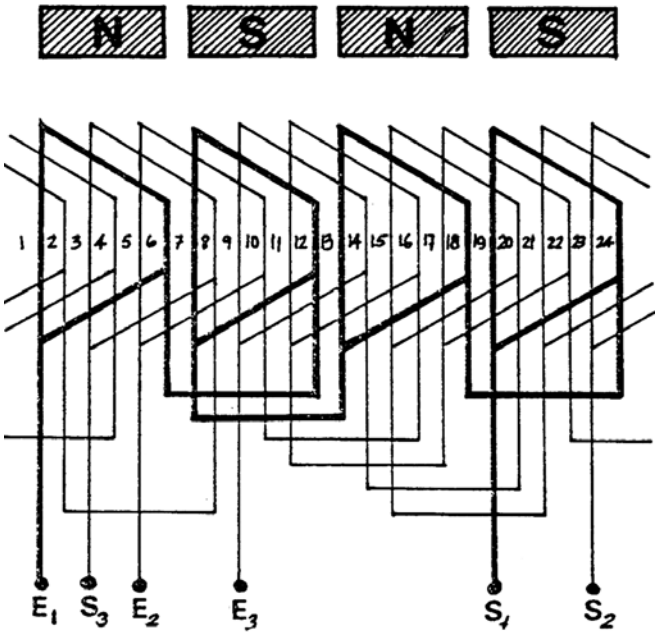


FIGURA 10 - BOBINADO IMBRICADO DE CUATRO POLOS Y 24 RANURAS.

Una vez conocido el paso de bobina estamos en condiciones de continuar el trazado del bobinado, para ello debemos unir el lado de bobina 1 (largo 9 con el lado de bobina 6 (corto) quedando así una bobina. Continuamos luego uniendo los lados 3 y 8, 5 y 10 y así sucesivamente hasta completar el desarrollo teniendo en cuenta que siempre debemos unir un lado largo con el corto que se encuentra cinco ranuras más adelante.

Para conocer en cuales ranuras comienzan cada una de las fases debemos calcular el paso de fase, para esto utilizamos la fórmula correspondiente

$$\text{paso de fase} = \frac{2 \times \text{nro de ranuras}}{3 \times \text{nro de polos}} = \frac{2 \times 24}{3 \times 4} = 4 \text{ ranuras}$$

Si fijamos como indicación de la fase 1 la ranura 1, la segunda fase deberá comenzar en la ranura 5 y la tercera fase en la ranura 9.

Conexiones frontales:

Para conseguir polaridades contrarias en los polos adyacentes se hace necesario conectar el lado 6 con el 12, el 7 con el 13 y el 18 con le lado 24, de esta manera la corriente se desplaza en sentido contrario al anterior para lograr el fin propuesto.

Si el lector ha seguido con detenimiento el proceso cumplir para lograr el trazado de este bobinado no le resultará difícil interpretar los ejemplos que se indican a continuación para máquinas de 24 y dos polos como así también 36 y seis polos.

BOBINADO IMBRICADO DE DOS POLOS

El trazado correspondientes se muestra en la figura 11, se lo ha realizado de acuerdo a los siguientes datos:

Cantidad de ranuras 24 - Ranuras por polo y fase 4 - Paso polar 12 - Paso del bobinado 9 - Paso de fase 8.

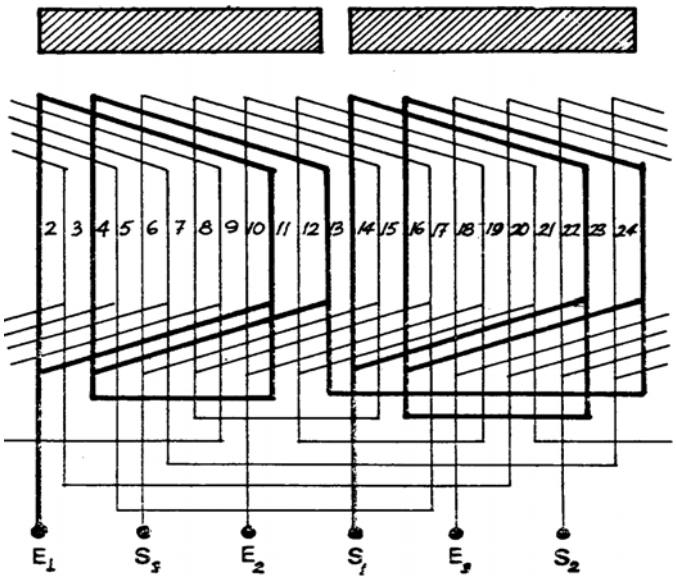


FIGURA 11 - BOBINADO IMBRICADO DE DOS POLOS Y 24 RANURAS.

BOBINADO IMBRICADO DE SEIS POLOS

Se lo indica en la figura 12, los datos correspondientes son:

Cantidad de ranuras 36 - ranuras por polo y fase 2 - Paso polar 6 - Paso de bobina 5 - Paso de fase 4.

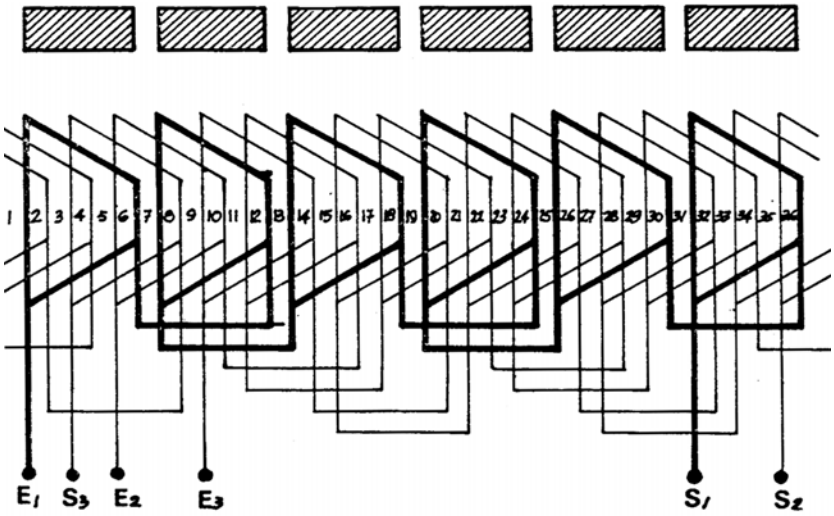


FIGURA 12 - BOBINADO IMBRICADO DE SEIS POLOS Y 36 RANURAS.

BOBINADOS DE BARRAS

Para analizar las características más importantes de los bobinados ondulados en las máquinas trifásicas, es necesario recordar que un arrollamiento ondulado presenta las distintas espiras conectadas de modo que se pasa de una a otra avanzando siempre por la periferia del estator, por supuesto por tratarse de máquinas trifásicas se dispondrán tres circuitos que podrán ser conectados en estrella o en triángulo según el caso. Pueden encontrarse bobinados ondulados trifásicos con más de tres ramas debiendo ser el número de éstas un múltiplo de tres para conseguir que al conectarlas en paralelo, se obtengan tres circuitos de igual número de ramas y bobinas conectadas en las cajas de bornes.

Con referencia al aspecto físico que presentan los bobinados ondulados, podemos decir que generalmente son de barras, o sea, cada bobina está formada por un único conductor macizo al que se le da forma mediante moldes antes de su colocación en las ranuras. Por supuesto que estas bobinas no son planas ya que deben poseer la curvatura adecuada para adaptarse a la forma del estator, además, generalmente suelen encontrarse en cada ranura, dos lados de bobina ya que los bobinados ondulados se realizan casi siempre a doble capa, siendo esta la disposición más común la consideraremos en detalle.

Cabezas de bobinas:

Como se recordará, en los arrollamientos ondulados, los conductores ubicados debajo de un polo deben encontrarse en serie con los conductores colocados bajo el polo siguiente, es decir, el conductor que está debajo de un polo norte será recorrido por una corriente de determinado sentido, mientras que el colocado bajo

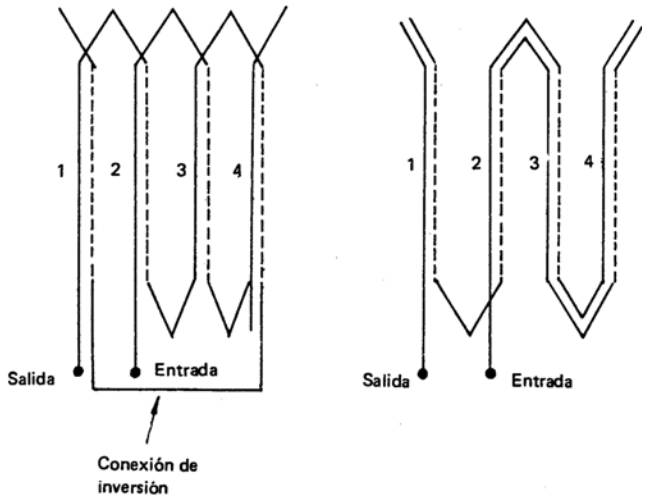


FIGURA 13 - CONEXION DE INVERSION EN UN DEVANADO ONDULADO ELEMENTAL.

el polo sur es recorrido por una corriente de sentido contrario. En el conductor siguiente de la serie, que se encontrará debajo de otro polo norte, la corriente deberá tener igual sentido que en el primer conductor, por ese motivo las uniones de los conductores adyacentes de la serie se alternan a cada lado del estator.

Conexiones de inversión:

Una característica de los bobinados ondulados de corriente alterna, es la de formar dos series de recorridos inversos para lograr una circulación cerrada usando los dos conductores que aloja cada ranura, esto significa que se hace necesario invertir el sentido de avance del bobinado para lograr la circulación de corriente obteniendo al mismo tiempo una distribución alternada de las cabezas de bobina.

En la figura 13, se muestra la conexión de inversión, puede notarse que esto que esto permite una disposición alternada de las cabezas de bobina, observe que no realizarse dicha conexión por avanzar siempre en el mismo sentido las cabezas no quedan alternadas sino superpuestas.

Trazado de bobinados ondulados:

Como en casos anteriores, desarrollaremos el trazado de un bobinado ondulado que responde a los siguientes datos 18 ranuras- 6 polos. Se tendrá en cuenta que para simplificar la explicación se ha elegido un estator con un número de ranuras relativamente bajo, aunque en la práctica los devanados ondulados se utilizan especialmente en máquinas de gran potencia y número de polos lo que supone un elevado número de ranuras. En la figura 14 se ha representado el trazado correspondiente, comenzaremos por destacar que en cada ranura se alojan dos conductores (lados de bobinas) indicándose con trazo continuo los ubicados en la parte superior y con línea interrumpida de los de la parte inferior.

La cantidad de ranuras por polo y fase se determina con la fórmula ya conocida

$$\frac{\text{Nro de ranuras}}{3 \times p} = \frac{18}{3 \times 6} = \frac{18}{18} = 1$$

En este caso, dado que el paso de bobina es igual al paso calculamos la cantidad de ranuras que abarca cada bobina en la siguiente forma

$$\frac{\text{Nro de ranuras}}{\text{Nro de polos}} = \frac{18}{6} = 4 \text{ ranuras}$$

Conocidos estos datos, el trazado corresponderá a la figura 14 debiendo notarse que la primera fase está representa en la línea llena y la segunda fase en línea punteada, destacamos que la tercera fase no ha sido representada para evitar complejidad del esquema aunque esto no significa inconveniente alguno ya que su trazado es idéntico a las anteriores.

BOBINADOS DEL ROTOR

Hasta el momento nos ocupamos de los bobinados de los estatores de máquinas que utilizan rotor en jaula de ardilla, los trazados correspondientes no presentan variantes con respecto a los de máquinas con rotor bobinado por lo tanto nos ocuparemos en analizar estos rotores sin hacer referencia a los estatores.

La corriente en los conductores del rotor, es generalmente mayor que en el estator, por ese motivo la sección de los conductores del rotor debe ser mayor que en el estator. Los bobinados del rotor pueden ser de dos tipos, imbricados para máquinas de poca potencia o bien devanados ondulados para máquinas de mayor potencia.

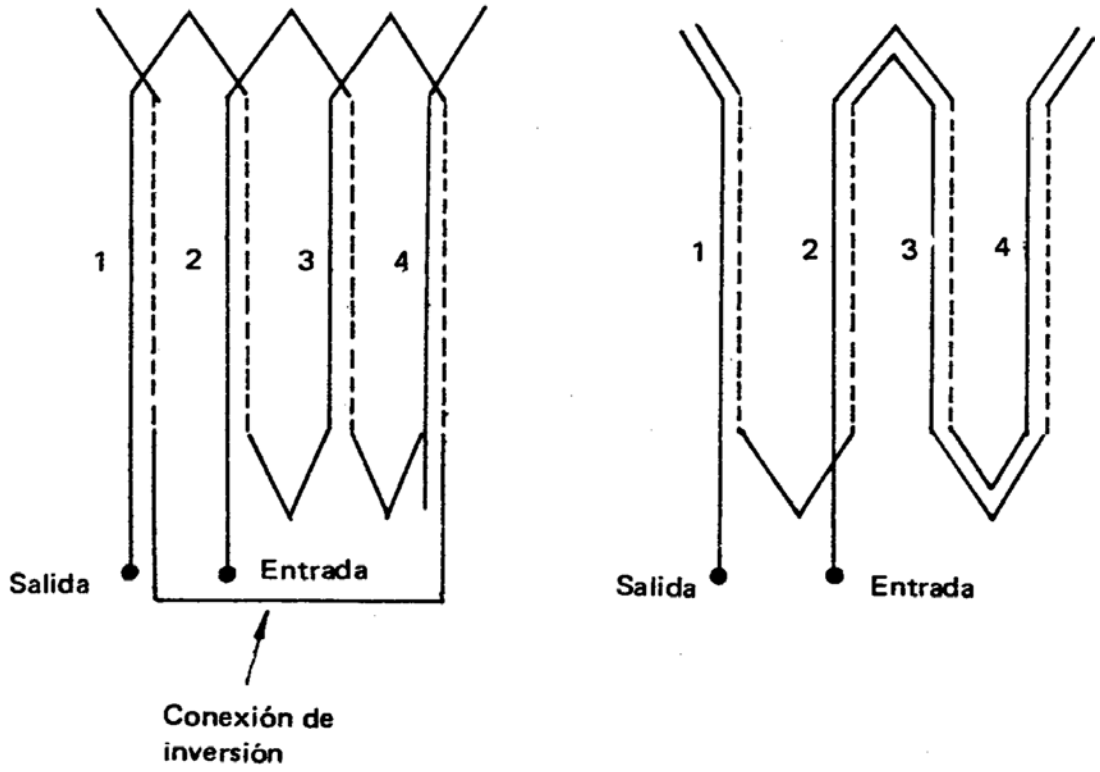


FIGURA 14 - TRAZADO DE UN BOBINADO ONDULANDO DE 18 RANURAS Y 6 POLOS

BOBINADOS IMBRICADOS

Los devanados imbricados en el rotor, son similares a los que se emplean en el estator, es común que las fases del bobinado se dispongan en triángulo, es decir, los puntos de unión del triángulo se conectan a los anillos colectores.

BOBINADOS ONDULADOS

También en este caso el trazado es similar a lo considerado en los estatores, en la figura 15 se representó el correspondiente a un rotor de 24 ranuras para un motor trifásico de cuatro polos. Como podemos apreciar en la figura, este bobinado se encuentra bobinado en estrella ya que los finales de las tres fases se en-cuentran unidas a una barra común que generalmente se encuentra en el lado del rotor opuesto al que enfrenta a los anillos. Naturalmente que los tres principios de las fases, van conectadas a los anillos colectores.

TRAZADO DE BOBINADOS MONOFÁSICOS

En los motores monofásicos, generalmente el bobinado de trabajo no ocupa la totalidad de las ranuras, ya que algunas quedan libres para alojar al bobinado e arranque, es común que este último ocupe la tercera parte de las ranuras disponibles. En casi todos los casos, los arrollamientos monofásicos son del tipo en cadena porque facilita constructivamente dejar ranuras vacías ya que permiten conexiones frontales más cortas.

Ejemplo: en la figura 16, se muestra el trazado del bobinado de un motor bipolar con 18 ranuras. Como se anticipó los bobinados de trabajo ocupan las dos terceras partes del total de ranuras, es decir 18 x 2/3 = 12, por lo tanto se destinan 12 ranuras para bobinas de trabajo y 6 para las de arranque.

La cantidad de ranuras por polo del bobinado de trabajo será 12/2 = 6 por tratarse de una máquina bipolar, mientras que para las bobinas de arranque, la cantidad de ranuras por polo resulta se 6/2 = 3.

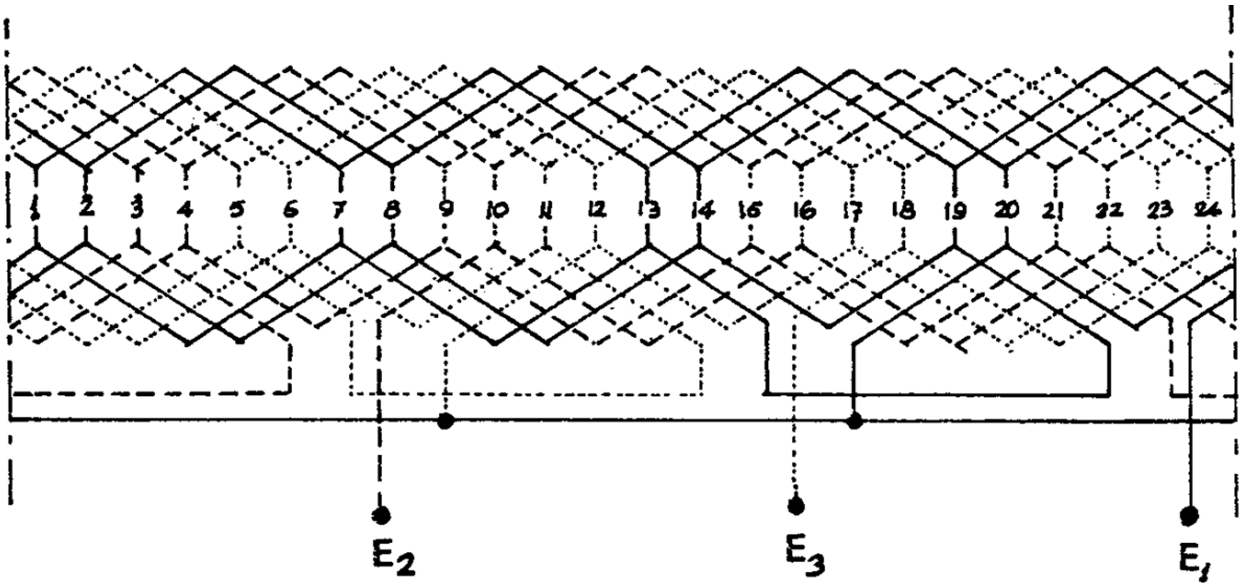


FIGURA 15 - TRAZADO DE UN BOBINADO ONDULANDO PARA UN ROTOR TRIFASICO DE CUATRO POLOS.

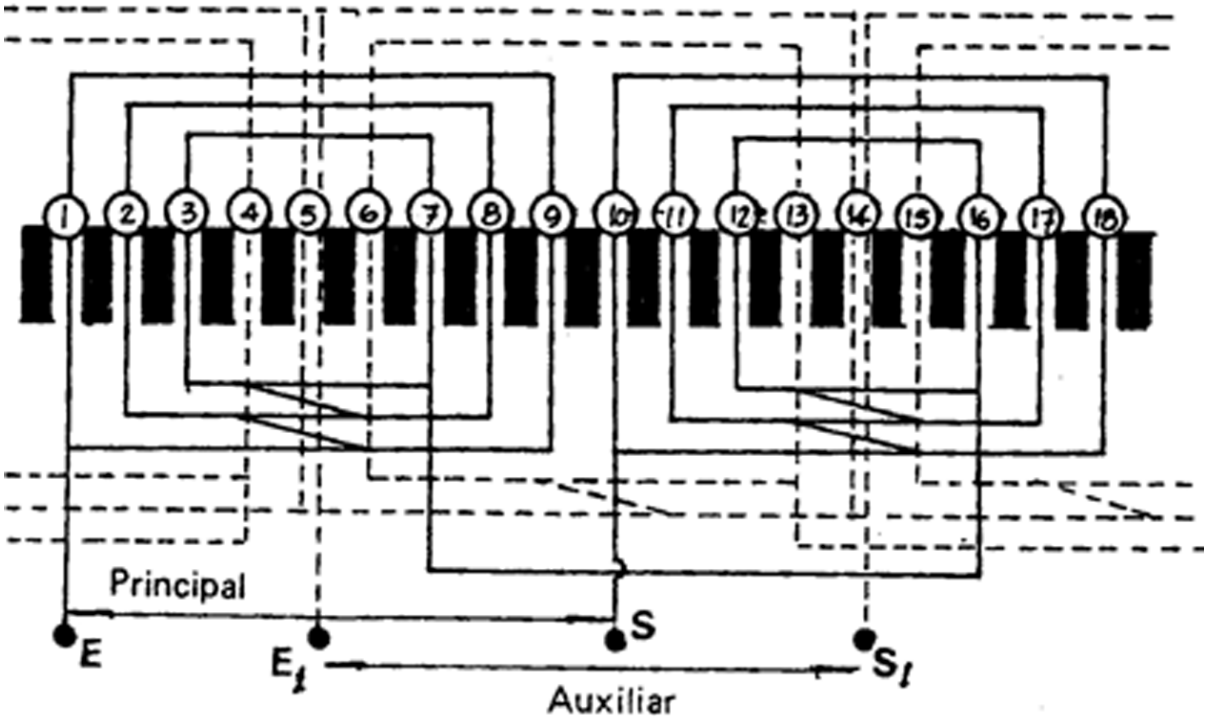


FIGURA 16 - BOBINADO EN CADENA DE DOS POLOS Y 18 RANURAS.

Por tratarse de una máquina bipolar, el paso polar es 18/2 = 9 ranuras; de esta cantidad se destinan 6 ranuras para la bobina de trabajo usando las tres centrales (restantes) para alojar la bobina de arranque. Cada polo de trabajo está formado por tres bobinas concéntricas que ocupan las ranuras 1 - 9, 2 - 8, 3 - 7, para un polo y 10 - 18, 11 - 17 y 12 - 16 para el otro polo. Con referencia a los polos de arranque están formados cada uno por dos bobinas concéntricas alojadas en las ranuras 5 y 14, se alojan dos lados de la bobina de polos distintos.

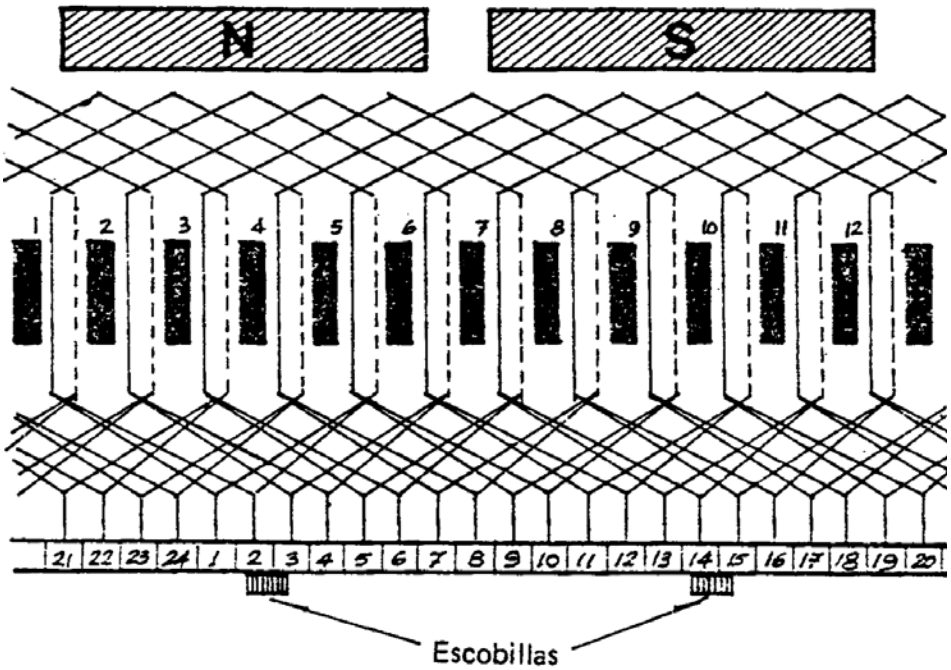


FIGURA 17 - BOBINADO DEL ROTOR DE UN MOTOR UNIVERSAL DE DOS POLOS Y 12 RANURAS.

Con referencia al bobinado de motores universales, podemos decir que los arrollamientos inductores son del tipo concentrado, muy similares a los utilizados en corriente continua; en cuanto al bobinado del rotor es en la mayoría de los casos del tipo imbricado y posee la misma cantidad de bobinas que delgas tiene el colector. Generalmente la cantidad de ranuras es igual a la mitad del número de delgas, por lo tanto en cada ranura se alojan cuatro lados de bobina. Como la mayoría de los motores universales son bipolares, el paso polar será igual a la mitad de la cantidad total de ranuras del rotor. El paso de bobina se acostumbra a tomarlo con una ranura menos que el paso polar.

Ejemplo: para lograr el trazado que indica la figura 17, se tomaron como base los siguientes datos: número de polos 2 - número de ranuras 12 - número de delgas del colector 24. Como sabemos el número de bobinas es igual al número de delgas del colector, por lo tanto si tenemos 24 bobinas para alojarlas en 12 ranuras, es necesario disponer cuatro lados de bobina en cada ranura. Además el paso polar, por tratarse de una máquina de dos polos y doce ranuras será de 6 ranuras.

Se entiende que por tratarse de un bobinado imbricado, el paso del avance que resulta igual al paso de bobina, debe tomarse con una ranura menos que el paso polar, o sea, 6 - 1 = 5. Con referencia al paso de retroceso, se recordará que tiene una ranura menos que el paso de avance, por lo tanto su valor es 5 - 1 = 4.

ENSAYO, PRUEBA Y CÁLCULO DE MOTORES DE CORRIENTE ALTERNA

Conocidas las diversas disposiciones circuitales de los motores de corriente alterna ya sean monofásicos o trifásicos, encararemos en esta lección el estudio de los métodos a seguir para el ensayo y localización de posibles averías en dichas máquinas eléctricas. Es interesante destacar que en todos los casos en que se ha efectuado una reparación, antes de proceder al armado de la máquina es muy conveniente realizar el control de la misma, por ese motivo señalamos a continuación las verificaciones más comunes que se realizan, como así también la técnica a utilizar para el logro de un trabajo eficiente, seguro y rápido.

A los efectos de guardar un orden en las explicaciones comenzaremos por tratar los ensayos que se realizan sobre los motores monofásicos, analizando además las fallas más comunes que estos presentan.

ENSAYO DE UN MOTOR MONOFÁSICO DE FASE PARTIDA

Supongamos que se ha concluido el bobinado de un motor monofásico con sus respectivas conexiones, a continuación de los arrollamientos con masa, cortocircuitos entre las espiras, inversiones de la polaridad de los polos, etc. Naturalmente que estos ensayos deben realizarse en lo posible antes de barnizar el motor para que no resulte luego, trabajosa su reparación.

Los ensayos más comunes que se realizan son:

Contactos con masa:

Los contactos a masa, se suelen establecer cuando en un sector o en un punto del alambre del bobinado se ha quebrado o roto la aislación produciéndose en consecuencia un contacto eléctrico con la parte metálica del motor. Generalmente estos contactos a masa se producen en zonas determinadas de la máquina, por ejemplo:

a) Contactos de los conductores con las aristas de las ranuras del núcleo. Como allí el alambre se dobla, puede ocurrir que la aislación se agriete o desgaste durante el proceso de bobinado.

b) Los tornillos de sujeción de las tapas o escudos, pueden producir un cortocircuito con masa al raspar las cabezas de bobina, especialmente cuando sobresalen demasiado de las ranuras.

c) El interruptor centrífugo haciendo contacto con el escudo.

Para realizar el ensayo con le fin de controlar la existencia de alguna de las fallas recién mencionadas, se utiliza una lámpara serie. Tal como lo demuestra la figura 18, una punta del cable de dicha lámpara se pone en contacto con un terminal de la bobina que se sospecha está haciendo contacto a masa y el otro terminal se coloca en el núcleo del estator. Si al realizar esta operación, la lámpara enciende, estamos en presencia de un contacto a masa, en consecuencia debemos determinar en que punto del bobinado se produce. Para ello puede intentarse descubrir la falla observando detenidamente el arrollamiento para ver si algún conductor toca al núcleo.

Si no logramos descubrir la falla a simple vista, conectamos la lámpara y movemos las bobinas de una por vez, si la lámpara oscila la falla se encuentra en esa bobina. Una vez ubicado el punto donde se produce el contacto a masa, se procederá a aislarlo correc-tamente.

Otro método para detectar fallas, consiste en utilizar una fuente de tensión dos o tres veces superior a la nominal del motor; al aplicar dicha tensión se producirá en el punto de contacto a masa un chisporroteo que indica la zona de falla.

También puede optarse por colocar en paralelo con la lámpara una resistencia de bajo valor para permitir por los arrollamientos una corriente excesiva, de tal forma que se produzcan chispas en le punto defectuoso. Si los métodos recién explicados no conducen a ningún resultado, se hace necesario desconectar los empalmes entre los polos y ensayar cada uno de estos por separado.

Una vez armado el motor es imprescindible controlar nuevamente la posibilidad de contactos ente los arrollamientos y masa, para ello bastará dispone la lámpara serie en la forma indicada en la figura 19. Un terminal de la lámpara hace contacto con le bobinado a través de la caja de bornes, el otro terminal se apoya sobre la carcaza, de forma tal que si la lámpara enciende, para detectar el contacto a masa, se procederá de acuerdo a los métodos recién explicados.

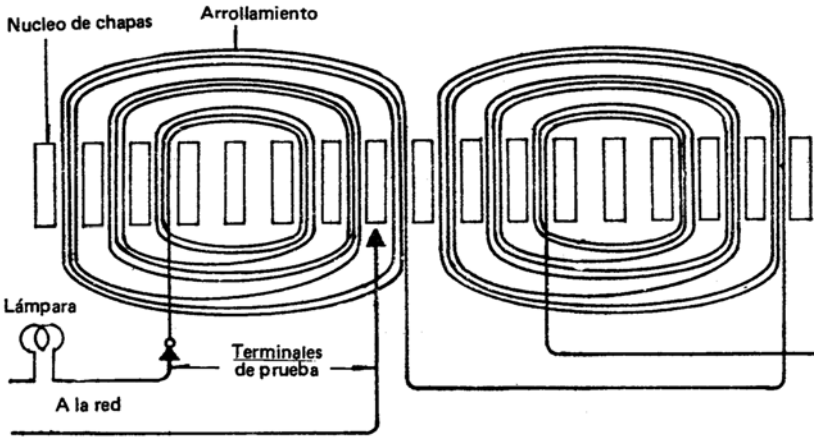


FIGURA 18 - PARA DETERMINAR CONTACTO A MASA EN EL ARROLLAMIENTO CON UN TERMINAL DE LA LAMPARA SERIE EN CONTACTO CON EL ARROLLAMIENTO Y EL OTRO CON LA CHAPA DEL ESTATOR. SI SE ENCIENDE, HAY CONTACTO A MASA.

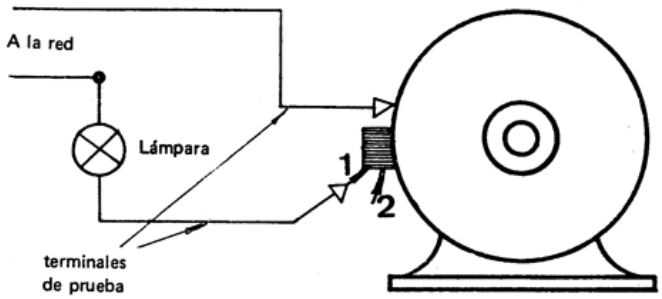


FIGURA 19 - ENSAYO DE CONTACTO A MASA CON EL MOTOR ARMADO.

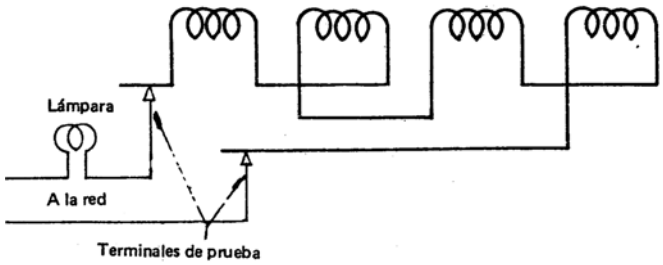


FIGURA 20 - CIRCUITO PARA DETERMINAR INTERRUPCION EN LOS ARROLLAMIENTOS.

Circuito abierto:

Los circuitos abiertos en los bobinados principal o de arranque constituyen otra de las causas probables de avería. Para localizar la interrupción en el arrollamiento principal se puede utilizar una lámpara serie en la forma indicada en la figura 20. Los terminales de la lámpara serie, se conectan a los extremos del arrollamiento, si estos se encuentran en buen estado, la lámpara debe encender, pero si no lo hace, indica una interrupción del circuito en alguno de los polos.

Para detectarlo es necesario conectar la lámpara como lo indica la figura 21. Suponemos una interrupción en el tercer polo, un terminal de la lámpara permanece fijo sobre una punta del arrollamiento, con le otro terminal se establece en forma sucesiva contacto con los puentes marcados en la figura con los números 1, 2, 3 y la salida 4.

Al hacer contacto con el puente 1, la lámpara encenderá lo que indica que el primer polo no está interrumpido. Al repetir la operación en le puente 2 ocurre exactamente lo mismo, pero cuando hagamos contacto con le puente 3, la lámpara no enciende, lo que nos indica que le tercer polo se encuentra interrumpido. Naturalmente que tampoco encenderá la lámpara cuando la conectamos al terminal de salida 4, se entiende entonces que una vez reparada la interrupción, al conectar la lámpara al terminal 4 debe encender.

Cuando estas comprobaciones deben realizarse sobre el arrollamiento de arranque, el problema es un poco más complejo, pues como se recordará en ese circuito se encuentra el interruptor centrífugo que bien puede ser causa de la avería. Ante esta situación, es conveniente desconectar el interruptor centrífugo procediendo luego a controlar la continuidad eléctrica de los arrollamientos. Para ello se conectará la lámpara serie a los extremos de dichos arrollamientos.

Si la lámpara enciende se pasará a controlar el interruptor centrífugo, en caso contrario, si uno de lo polos se encuentra interrumpido se procederá como en le caso anterior. Encontrándose la falla en el interruptor centrífugo se procederá a limpiar sus contactos con tela esmeril de grano fino y además se graduará la presión de la parte rotativa sobre la parte fija.

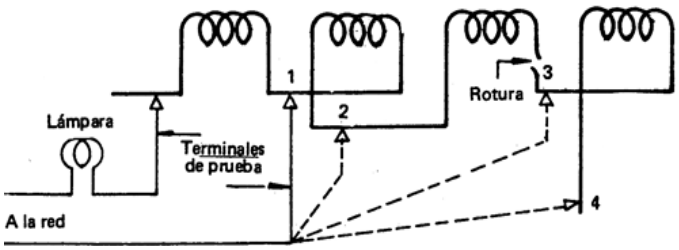


FIGURA 21 - UBICACION DE UN POLO INTERRUMPIDO.

En caso de encontrarse el motor armado, el control se realiza en la forma señalada en la figura 22, o sea, se conectan los terminales de la lámpara serie a los dos terminales del arrollamiento de arranque. Dado que en circunstancias normales los contactos del interruptor centrífugo se encuentran cerrados, la lámpara debe encender. Si así no ocurriera, debemos sospechar de los arrollamientos o del interruptor, los que sean controlados en la forma ya explicada.

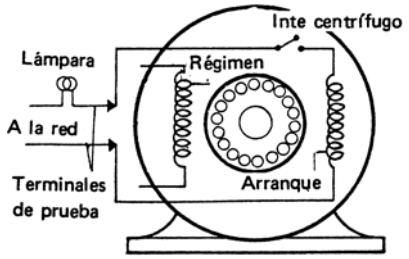


FIGURA 22 - ENSAYO DEL ARROLLAMIENTO DE ARRANQUE EN BUSCA DE CIRCUITOS ABIERTOS O INTERRUPCIONES.

Cortocircuitos:

En el caso de una bobina o varias que presentan fallas de aislación de forma que algunas de sus espiras se tocan entre sí, puede producirse un mal funcionamiento del motor y un calentamiento excesivo de la parte afectada. Para la detección de este tipo de avería pueden adoptarse alguno de los siguientes métodos:

1) Se pone en marcha el motor y luego de estar funcionando un cierto tiempo, se lo desconecta y desarma tratando de localizar con la mano la bobina más caliente siendo ésta la que presenta la falla

2) Otro método consiste en la utilización de un zumbador cuyos son similares a los utilizados en máquinas de corriente continua. En la figura 23, se ha representado un estator con cuatro polos de trabajo mostrando la posición que ocupa el zumbador con el fin de inducir tensión a uno de los arrollamientos. Al pasar sobre las ranuras correspondientes una lámina metálica (hoja de sierra) se producirán vibraciones en la misma siempre que la bobina en prueba se encuentre en cortocircuito. Esto no ocurriría si la bobina estuviera en buenas condiciones ya que la tensión inducida por le zumbador no determina circulación de corriente al no existir cortocircuito.

3) Otro método consiste en desconectar los polos procediendo luego a aplicarles individualmente una tensión continua para determinar, mediante un amperímetro, el valor de la corriente circulante. Por comparación de los resultados obtenidos, puede determinarse el polo con espiras en cortocircuito, ya que el mismo permite un mayor pasaje de corriente.

Inversión de polaridad:

Esta falla se debe a errores en le conexionado entre los polos y se puede localizar utilizando una brújula. Para realizar el ensayo, se debe conectar el bobinado del estator (colocado en posición horizontal) a una fuente de corriente continua de baja tensión. Luego, tal como lo indica la figura 24, se desplaza la brújula lentamente frente a los dos polos. Si el bobinado está bien conectado, la aguja de la brújula será atraída y rechazada al pasar sucesivamente de un polo a otro. Si el extremo de la aguja es atraído por dos polos contiguos, tendremos que uno de ellos ocurre y determinado cual es el polo que está incorrectamente conectado, se deben invertir los terminales del mismo. Cuando una bobina o grupo de bobinas de un polo están invertidas en su conexión con el resto del

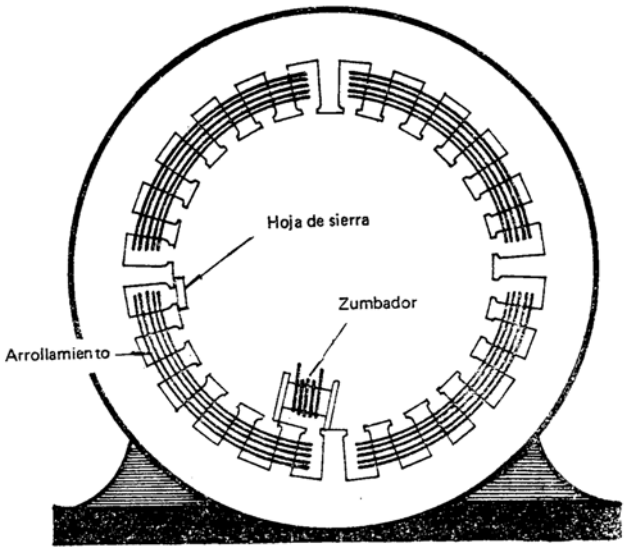


FIGURA 23 - LOCALIZACION DE CORTOS CIRCUITOS EN EL ESTATOR CON UN ZUMBADOR.

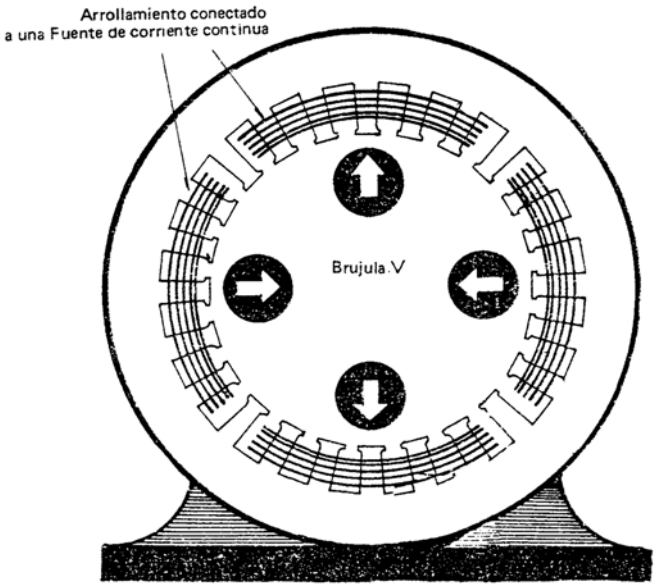


FIGURA 24 - VERIFICACION DE LOS ARROLLAMIENTOS CON LA BRUJULA.

bobinado, tal como lo muestra la figura 25, todo ocurre como si hubiera una polaridad contraria dentro del mismo polo, es decir, un polo sur dentro de un polo norte o al revés y ello produce zumbidos, calentamientos y pérdidas de potencia.

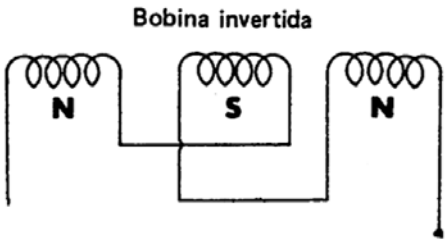


FIGURA 25 - ESTA INVERSION PRODUCE UNA REDUCCION DEL CAMPO MAGNETICO DEL POLO.

Se puede detectar esta falla conectando el devanado a una fuente de corriente continua de baja tensión y se hace deslizar una brújula por el bobinado del estator. Cuando la brújula cambia la dirección de su aguja dentro de la sección correspondiente a un mismo polo, es porque hay una o varias bobinas invertidas dentro del mismo polo.

Reparaciones en los motores monofásicos de fase partida.

Seguidamente vamos a tratar diversos defectos de funcionamiento que pueden presentarse en los motores monofásicos de fase partida y los métodos para remediarlos.

El motor no arranca.

Si al conectar el motor a la res no arranca, puede ser debido a las siguientes causas:

1) Interrupción en el arrollamiento de trabajo: Podemos detectar esta avería utilizando una lámpara serie de la forma explicada anteriormente. Si la lámpara no enciende indica que hay una interrupción en le arrollamiento.

2) Interrupción en e arrollamiento de arranque: Puede ubicarse la falla utilizando una lámpara serie como en el caso anterior. Como operación previa es necesario conectar el motor a la línea, de estar los arrollamientos de arranque abiertos, el motor producirá un zumbido característico. Podemos intentar poner en marcha el motor a mano (fig. 26), si una vez producido el impulso inicial el motor se mantiene en marcha es evidente una falla en le circuito de arranque.

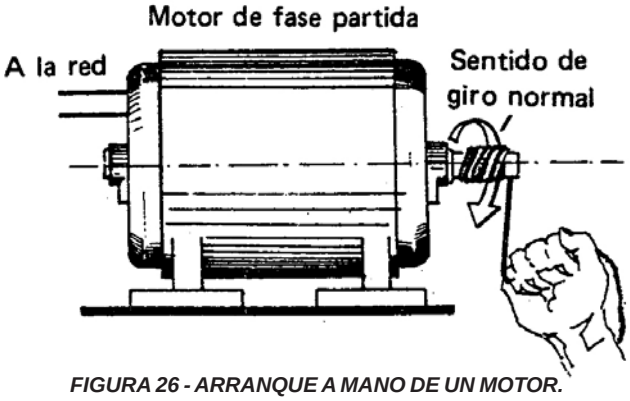


FIGURA 26 - ARRANQUE A MANO DE UN MOTOR.

3) Arrollamiento en contacto a masa: Suponiendo que existe un solo contacto a masa el motor arrancará normalmente, pero bien puede ocurrir que sean dos o más los contactos con masa, en este caso se origina un cortocircuito que puede impedir el arranque del motor. Esto se debe a que el corto puede eliminar parte del bobinado.

4) Arrollamiento quemado o en cortocircuito: Esta avería al igual que la anterior anula parte del bobinado.Vale aclarar que en ambos casos además de no producirse el arranque del motor, generalmente el exceso de corriente funde los fusibles de protección.

5) Carga mecánica excesiva: Ante el caso de una carga mecánica excesiva el motor no arranca, esto da lugar a un elevado amperaje, circulante por sus arrollamientos, tanto los de trabajo como los de arranque. Si el elemento de protección no interrumpe rápidamente la alimentación, pueden llegar a quemarse los bobinados.

6) Escudos mal montados: Cuando un escudo no se adapta perfectamente a la carcaza del motor, como puede apreciarse en la figura 27, los cojinetes no quedan alineados y por esa causa el motor no puede arrancar. Para no encontrarnos con este inconveniente al colocar el escudo, se lo debe centrar perfectamente y apretar los tornillos poco a poco y simultáneamente.

Si al colocar el escudo hubiéramos apretado completamente el primer tornillo, luego el siguiente y así sucesivamente, el lado del escudo opuesto a los pri-

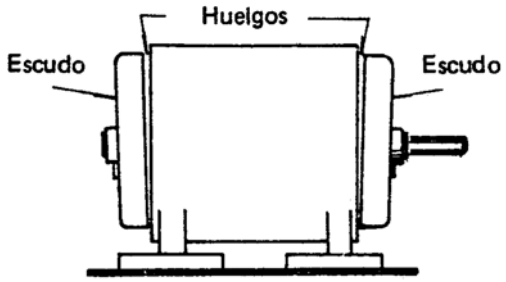


FIGURA 27 - LOS ESCUDOS MAL MONTADOS PUEDEN IMPEDIR EL ARRANQUE DEL MOTOR.

meros tornillos apretados no quedará bien ajustado sobre la carcaza.

El motor funciona a velocidad inferior a la normal.

Cuando un motor pese a estar sometido a una carga normal, no mantiene la velocidad de régimen varias pueden ser las causas que determinan este inconveniente, las principales son:

1) Cortocircuito en le arrollamiento de trabajo: Si por cualquier motivo se establece un cortocircuito en el arrollamiento de trabajo, el campo magnético de dicho arrollamiento disminuye su valor, de forma tal que aumenta el resbalamiento. Esto equivale evidentemente a una disminución de la velocidad de la máquina. Para verificar si es esa la causa del inconveniente se procederá a realizar un control utilizando por ejemplo un zumbador.

2) El arrollamiento de arranque queda permanentemente conectado: El síntoma de esta avería, es que el motor no alcanza su velocidad normal y se escucha un zumbido característico. Como se recordará, el arrollamiento de arranque quedaba conectado hasta que le motor alcanzaba una velocidad de régimen. En ese momento comienza a actuar el interruptor centrífugo que está conectado en serie con dicho arrollamiento de arranque y que lo desconecta de la red de alimentación. Percibidos los síntomas antes mencionados que nos muestran que el arrollamiento de arranque no se desconecta, como sería lo normal, se procede de la siguiente manera: se desconecta un terminal del arrollamiento de arranque y se produce el arranque a mano del motor. Si el motor funciona normalmente tenemos la seguridad que la avería está en le circuito de arranque y en este caso es que el interruptor centrífugo no desconecta el arrollamiento de arranque en el momento debido. Esto puede ser causa de que los contactos se hayan soldado o que por algún motivo se hayan quedado pegados. En cualquiera de los casos se reparará el interruptor centrífugo de manera adecuada, o se lo cambiará por otro nuevo.

3) *Polos del arrollamiento de trabajo invertidos:* Si los polos se encuentran mal conectados, producirán polaridades incorrectas y el motor marchará lentamente. Esta avería, se ubica desarmando el motor y comprobando cual es el polo invertido mediante una brújula.

También puede ocurrir que se hayan realizado conexiones equivocadas en el estator, por ejemplo, un error muy frecuente es el mostrado en el esquema de la figura 28, o sea, conectar dos polos en serie y el resto del circuito por quedar cerrado sobre sí mismo, no recibe alimentación de la línea.

FIGURA 28 - ERROR FRECUENTE EN EL CONEXIONADO DE LOS POLOS DE UN MOTOR

4) Barras del rotor sueltas: Se trata de barras de la jaula de ardilla que se sueltan de sus aros frontales. Se detecta esta avería debido al zumbido característico y a la disminución de la potencia del motor. Se deberá sacar el rotor y si hay barras sueltas, se podrá ver por una simple inspección ocular.

Si esta inspección no revelara la existencia de esta avería, se procede a ensayar el rotor en un zumbador, tal como lo indica la figura 29. La bobina del zumbador se conecta a una corriente alterna de 220 volt y el rotor se dispone sobre él haciéndolo girar lentamente. Si se conectan en serie con la bobina del zumbador, lámparas, su luz oscilará en caso de que haya barras sueltas. Localizadas dichas barras, estas deberán ser soldadas o remachadas a los aros frontales.

El motor recalienta.

Las causas más comunes para que un motor recaliente, suelen ser las siguientes:

1) Arrollamientos en cortocircuito: Como ya se explicó, un cortocircuito en los arrollamientos, determina un exce-

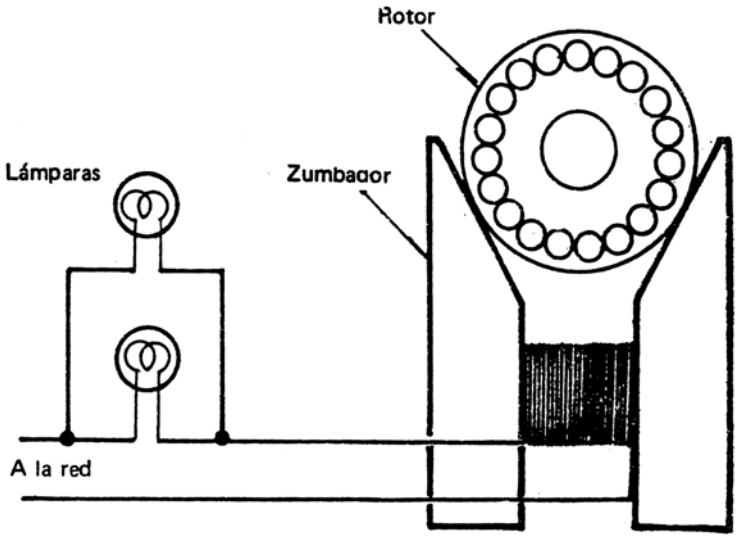


FIGURA 29 - ENSAYO DE UN ROTOR CON UN ZUMBADOR.

so de corriente, lo que trae aparejado una elevación de la temperatura. La búsqueda del arrollamiento responsable, puede efectuarse mediante la utilización de un zumbador.

2) Arrollamiento con contactos a masa: Es evidente que un arrollamiento que tenga dos o más contactos a masa, equivale a un cortocircuito, lo que determina un exceso de corriente y un aumento indebido de la temperatura. La detección del arrollamiento responsable de la falla se realiza utilizando una lámpara serie en la forma explicada.

3) Cortocircuito entre los arrollamientos de trabajo y arranque: Cuando se produce un cortocircuito entre los arrollamientos de arranque y de trabajo, mientras el motor se mantiene en marcha, circulará permanentemente una corriente por una parte del arrollamiento de arranque, por lo tanto este se calentará pudiendo llegar a quemarse. Para subsanar, se conectarán los dos terminales de la lámpara serie a un extremo del arrollamiento de arranque y a un extremo del arrollamiento de arranque y a un extremo del arrollamiento de trabajo, al existir un cortocircuito entre ambos circulará corriente por la lámpara y ésta encenderá.

Para conectar se procede a mover cada bobina de arranque hasta que por apagarse la lámpara u oscilar se detecta el bobinado averiado.

Funcionamiento ruidoso del motor:

Si el motor funciona ruidosamente puede ser debido a varias causas siendo las más corrientes: cortocircuito en un arrollamiento, polos mal conectados, barras del rotor sueltas, cojinetes desgastados, interruptor centrífugo desgastado, excesivo juego axial, eje torcido y cuerpos extraños en el motor.

ENSAYO DE MOTOR MONOFÁSICO CON CAPACITOR

En ensayo de un motor monofásico con capacitor es muy similar al que se debe efectuar en el caso de los de fase partida, difiere únicamente en lo que se refiere a la prueba del condensador. Por ese motivo haremos referencia únicamente a este último detalle, a continuación describiremos algunos de los ensayos más comunes para la verificación de los condensadores.

ENSAYO DE CARGA

Se debe retirar al condensador del motor y conectarlo a una red de corriente alterna de 220 Volt, intercalando fusibles de 20 Amper tal como lo indica la figura 30. Si al conectar el capacitor a la red, se quema alguno de los fusibles, el condensador está en cortocircuito y habrá que reemplazarlo por otro nuevo. Si los fusibles no se queman, el condensador quedará cargado.

Finalizado el proceso de carga, no deberán tocarse los terminales del condensador, pues de hacerlo se sufrirá una fuerte descarga, producida por la corriente eléctrica que se almacenó durante la carga. Si la chispa es fuerte, es señal que el capacitor se ha cargado bien, si no salta chispa o es de pequeña intensidad, quiere decir que el condensador ha perdido su capacidad o se está en presencia de una interrupción, entonces es conveniente reemplazarlo.

ENSAYO DE CAPACIDAD

Para determinar la capacidad de un condensador en microfaradios es necesario disponer un voltímetro y

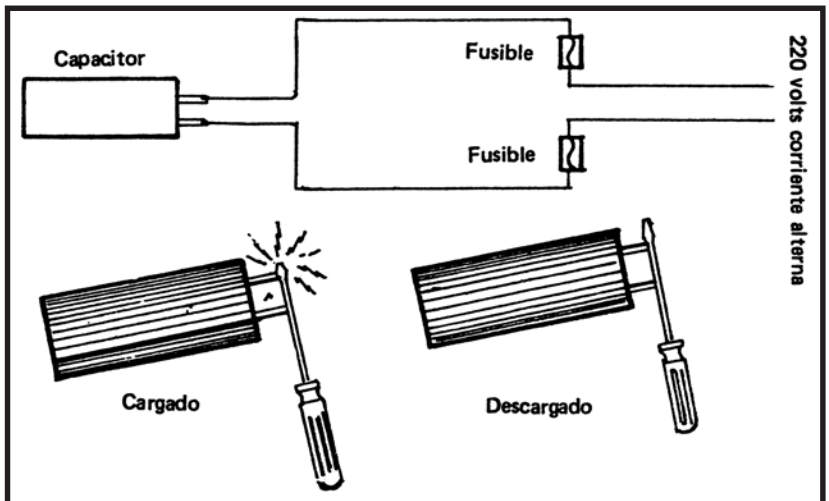


FIGURA 30 - ENSAYO DE CARGA DE CAPACITORES.

un amperímetro (ambos de C.A.) en la forma que indica la figura 31. El condensador previamente deberá retirarse del motor. En este ensayo, el capacitor quedará en el circuito durante unos segundos, solamente el tiempo necesario para realizar las lecturas en los instrumentos.

La capacidad del condensador se determina aplicando la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad en microfaradios} = 3185 \frac{\text{Amperes (A)}}{\text{Voltios (V)}}$$

Donde A es la medida en Amper tomada en el Amperímetro y V la medida en Volt tomada en el Voltímetro. El número 3185 es un valor constante que depende de la frecuencia de trabajo. (La capacidad así determinada deberá ser aproximadamente igual a la marcada sobre el condensador. Si la capacidad medida resulta un 20 % inferior a la normal, deberá sustituirse el condensador por otro nuevo.

Ejemplo: realizamos una prueba con un condensador, el amperímetro marca cuatro Amper y el voltímetro 220 Volt, de acuerdo a la fórmula anterior la capacidad en microfaradios es

$$C = \frac{3185 \times 4}{220} \quad 58 \text{ microfaradios aprox.}$$

Si la placa de características del motor indica una capacidad de 60 a 70 microfaradios el capacitor sirve, en caso contrario será necesario reemplazarlo.

ENSAYO DE CIRCUITO ABIERTO

Este ensayo es realizado en la misma forma que el anterior, si el Amperímetro no da lectura alguna quiere decir que el capacitor está abierto y por lo tanto se lo debe reemplazar.

ENSAYO DE CORTOCIRCUITO

Si durante el ensayo indicado en la figura 31 salta algún fusible será señal de que el condensador tiene un cortocircuito.

ENSAYO DE CONTACTOS A MASA

Se utiliza una lámpara serie. Con el motor desconectado de la red se toca un terminal del condensador con una de las puntas de prueba de la lámpara se hace contacto con la carcaza. Si la lámpara enciende existe un contacto a masa. Esta operación debe repetirse con le otro terminal del condensador, la disposición de los elementos para realizar el ensayo queda perfectamente aclarada en la figura 32.

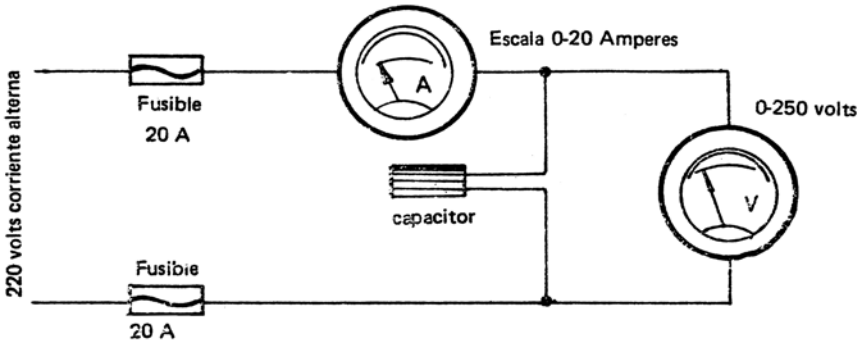


FIGURA 31 - CIRCUITO PARA ENSAYOS DE CONDENSADORES.

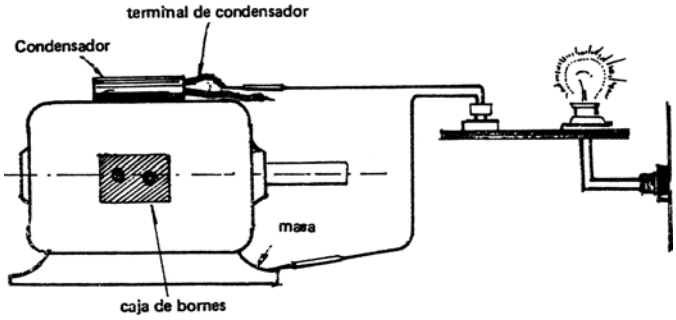


FIGURA 32 - ENSAYO DE CONTACTOS A MASA.

ENSAYO DE LOS ARROLLAMIENTOS

Una vez controlado el capacitor y reemplazarlo si fuera necesario, si el motor no funciona correctamente es necesario ensayar los arrollamientos. Estos son similares a los de una máquina de fase partida por lo tanto deben ser ensayados como si se tratase de un motor de esa clase. El ensayo de los arrollamientos comprende el control de contactos con masa, cortocircuitos o circuitos abiertos, polaridad de los arrollamientos, tal como se indicó anteriormente.

ENSAYOS DE MOTORES UNIVERSALES

En este tipo de motores se hace necesario realizar ensayos en los campos y en el rotor, primeramente señalaremos las tareas a realizar en las bobinas de campo.

ENSAYOS EN LOS ARROLLAMIENTOS DE CAMPO

En los arrollamientos de campo, se pueden realizar los siguientes ensayos:

Ensayo de continuidad

Tal como se indica en la figura 33 para verificar la continuidad de los arrollamientos de campo se puede utilizar una lámpara serie conectando sus puntas de prueba a los terminales de la bobina en ensayo. Si la lámpara enciende significa que el arrollamiento no está interrumpido.

Ensayo de cortocircuito

Para determinar la existencia de cortocircuitos en los arrollamientos puede aplicarse a la máquina la tensión normal de funcionamiento durante un corto tiempo comprobando luego si alguno de los arrollamientos calienta excesivamente. Otro método para cumplir el ensayo utiliza el Ohmetro, es evidente que le arrollamiento de menor resistencia es el que presenta espiras en cortocircuito.

Ensayo de contactos a masa

La presencia de contactos entre los arrollamientos y masa puede ubicarse utilizando una lámpara serie en la forma indicada en la figura 34. Una punta de prueba hace contacto con la terminal de un arrollamiento, mientras que la otra punta de prueba se apoya sobre el núcleo del motor, si la lámpara enciende existe un cortocircuito a masa.

FIGURA 33 - PRUEBA DE CONTINUIDAD DE LOS ARROLLAMIENTOS DE CAMPO.

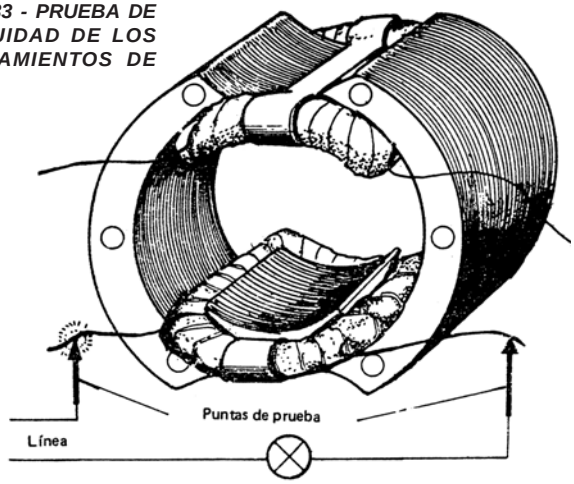
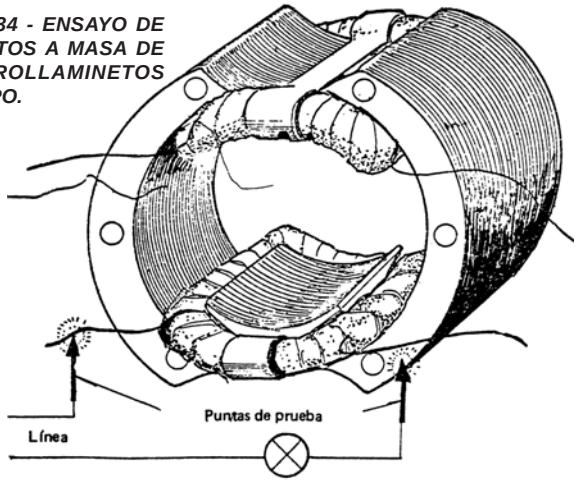


FIGURA 34 - ENSAYO DE CONTACTOS A MASA DE LOS ARROLLAMINETOS DE CAMPO.



Ensayo de polaridad

Para determinar la polaridad correcta puede utilizarse una brújula en forma similar a los casos tratados anteriormente. Es interesante destacar que en reemplazo de la brújula puede utilizarse un clavo en la forma señalada por la figura 35. Si el clavo mantiene la posición indicada, los arrollamientos mantienen polaridad correcta, en caso contrario, siendo los polos iguales el calvo es atraído por alguna de las masas polares.

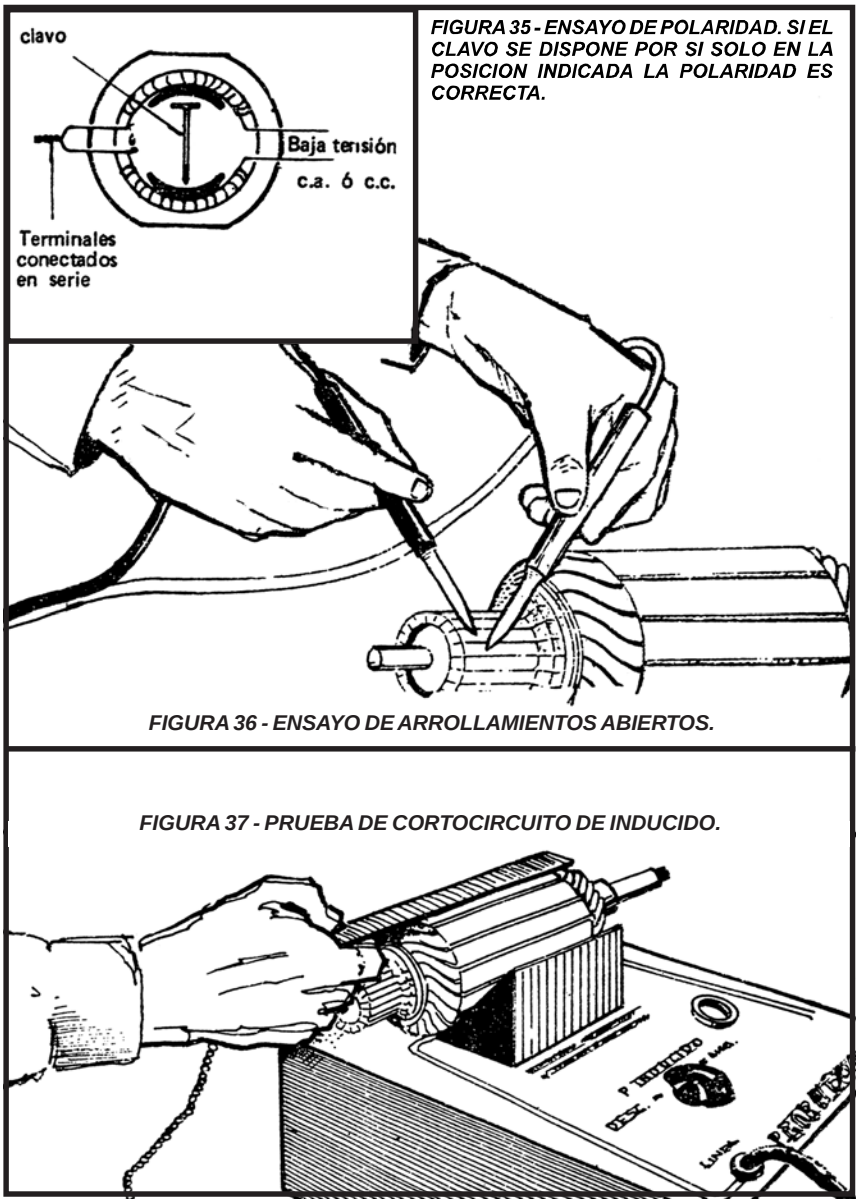


FIGURA 35 - ENSAYO DE POLARIDAD. SI EL CLAVO SE DISPONE POR SI SOLO EN LA POSICION INDICADA LA POLARIDAD ES CORRECTA.

FIGURA 36 - ENSAYO DE ARROLLAMIENTOS ABIERTOS.

FIGURA 37 - PRUEBA DE CORTOCIRCUITO DE INDUCIDO.

ENSAYO EN EL ROTOR

Los ensayos principales a realizar en el rotor son los siguientes:

Ensayo de arrollamientos abiertos

Para verificar si existen arrollamientos abiertos en le inducido se puede utilizar una lámpara serie tal como lo indica la figura 36. Si la lámpara serie no enciende o lo hace con poco brillo entre delgas adyacentes significa que el inducido tiene un arrollamientos cortado.

Ensayo de arrollamientos en cortocircuito

Este ensayo permite detectar fallas provocadas ya sea por bobinas en cortocircuito o bien por cortocircuito entre las delgas. El ensayo puede realizarse por medio de un Inductómetro o zumbido o bien con Amperímetro o Voltímetro en la misma forma que se explicó en las máquinas de corriente continua.

Cuando se utiliza el zumbador se dispone el inducido en la forma señalada en la figura 37, al hacerlo girar lentamente la tira metálica vibrará en el caso de existir un cortocircuito. Si esto ocurriera, es necesario limpiar el colector ya que el cortocircuito pudo ser provocado por dos delgas adyacentes. Si al repetir el ensayo la tira metálica continúa vibrando le cortocircuito se encontrará en la bobina respectiva.

ENSAYO DE CONTACTOS A MASA

Al igual que en las máquinas de corriente de corriente continua, los contactos a masa pueden encontrarse en los arrollamientos o en el colector.

El ensayo se realiza utilizando una lámpara serie, uno de sus terminales se conecta a las delgas del colector y el otro hace contacto sobre el núcleo metálico. Si la lámpara enciende, indicará la existencia de un contacto a masa.

ENSAYO DE MOTORES TRIFÁSICOS

Una vez concluida la reparación o rebobinado de un motor trifásico, se hace necesario someterlo a diversos ensayos tales como: contactos con masa, circuitos abiertos, espiras en cortocircuito, inversión de polaridad, inversión de fase completa y diferente número de bobinas por polo.

Vale anticipar que algunos de los ensayos que se detallan a continuación son tratados en forma sumamente breve, ya que son idénticos a los explicados para los motores monofásicos de fase partida.

Ensayo de contactos con masa

Se utiliza una lámpara serie, si se comprueba la existencia de un contacto a masa, la zona de la falla se puede ubicar moviendo las bobinas o haciendo pasar por las mismas una elevada corriente para observar chispas en le punto defectuoso.

Ensayo de circuitos abiertos

Mediante una lámpara serie se comprueba la continuidad, si dicha lámpara no enciende se deja un terminal de la lámpara sobre la entrada de los arrollamientos y se hace contacto sucesivo con la otra punta de prueba sobre los puentes de unión entre los distintos polos. La bobina anterior al encendido de la lámpara será la que tiene una interrupción.

Ensayo de espiras en cortocircuito

Para determinar la presencia de espiras en cortocircuito, se puede utilizar un zumbador en igual forma a la indicada en casos anteriores. También es posible detectar la falla haciendo funcionar al motor un cierto tiempo controlando luego en forma manual la temperatura.

Ensayo de inversión de polaridad

Para realizar este ensayo se tendrá en cuenta que la inversión de polaridad puede presentarse en las bobinas que forman un polo o en la fase completa.

1) Inversión en las bobinas: Puede ocurrir que al conectar las distintas bobinas de un polo, una de ellas quede invertida. Para detectarla se acude a una brújula que mostrará un movimiento vacilante al pasar frente a dicho polo.

2) Inversión del grupo de bobinas: Para ubicar un grupo de bobinas que forman un polo mal conectado, se alimenta a cada fase con una fuente de tensión continua; luego al pasar una brújula frente a los polos, el mal conectado no producirá inversión de polaridad en la brújula.

3) Inversión de fase completa: Debemos recordar que para obtener el campo giratorio, los principios de las tres fases deben estar desfasados 120º, si cometemos el error de conectar una de las fases invirtiendo su principio y final no se cumplirá el defasaje correcto. Para subsanar el inconveniente, se realiza una inspección invirtiendo la conexión equivocada.

DIFERENTE NÚMERO DE BOBINAS POR POLO

Es evidente que para lograr un campo giratorio uniforme, es imprescindible que cada uno de los polos tenga igual cantidad de bobinas por fase. Por error de conexionado, un polo puede tener más bobinas que otro, para localizar esa falla pueden contarse la cantidad de cabezas de bobina en cada polo.

Se tendrá en cuenta que los ensayos relativos a motores trifásicos hacen necesaria su repetición en cada una de las fases.

AVERÍAS MÁS COMUNES EN MOTORES TRIFÁSICOS

A continuación indicaremos las fallas más comunes que presentan los motores trifásicos, agregando además un comentario sobre las causas que pueden determinarlas. Por supuesto que no todas las causas serán comentadas ya que muchas de ellas fueron tratadas con anterioridad.

EL MOTOR NO ARRANCA

Generalmente esta falla es producida por alguna de las siguientes causas: fusible quemado, cojinetes gastados, sobrecarga, interrupción en alguna fase, bobina o grupo en cortocircuito, barras del rotor flojas,

conexiones internas equivocadas, cojinetes agarrotados y arrollamiento con contacto a masa.

EL MOTOR FUNCIONA MAL

El funcionamiento anormal del motor, puede deberse a: fusible quemado, cojinetes gastados, fase invertida, interrupción en alguna de las fases, arrollamiento en contacto con la masa, barras del rotor flojas.

EL MOTOR FUNCIONA DESPACIO

Las causas principales pueden ser: bobina o grupo invertido, cojinetes desgastados, sobrecarga, fase invertida y barras del rotor flojas.

EL MOTOR CALIENTA MUCHO

Este síntoma puede deberse a los siguientes motivos: sobrecarga, cojinetes gastados o agarrotados, bobinas o grupo en cortocircuito, interrupción en alguna fase y barras del rotor flojas.

Seguidamente analizaremos algunas de las fallas citadas que no fueron tratadas en su oportunidad.

Fusibles quemados

Si durante la marcha del motor se quema uno de los fusibles, la máquina continúa funcionado como monofásico, pero su marcha se hace ruidosa, pierde potencia y sus arrollamientos se calientan excesivamente.

Por el contrario si uno de los fusibles está quemado cuando se intenta poner en marcha al motor, este no arrancará, lo que determina una elevada corriente en los arrollamientos restantes.

Interrupción en una fase

Los síntomas son idénticos al caso de un fusible quemado.

Cojinetes desgastados

Si los cojinetes están gastados, el rotor puede rozar contra el estator produciendo mucho ruido durante la marcha de la máquina. Si el desgaste es excesivo y el rotor queda apoyado firmemente contra el estator, el motor no podrá girar. Este inconveniente es fácil de ubicar, bastará con tomar el eje con la mano moviéndolo en forma vertical, tal como lo muestra la figura 38. Si ese movimiento es posible, es evidente que los cojinetes están desgastados, se los debe reemplazar.

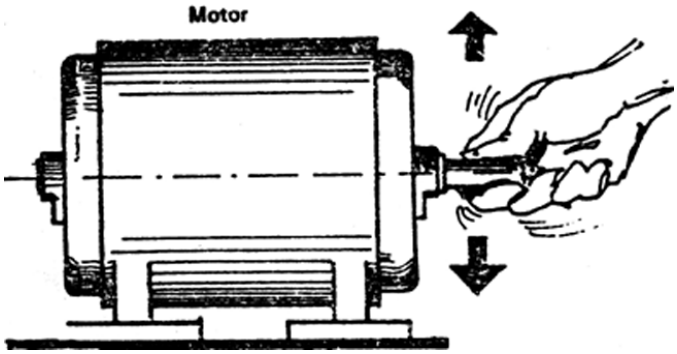


FIGURA 38 - VERIFICACION DE COJINETES DESGASTADOS MOVIENDO VERTICALMENTE EL EJE.

Cojinetes agarrotados

Por una falla de lubricación en los cojinetes, se produce un aumento de temperatura que determina la dilatación del eje del motor. Si el calentamiento es excesivo, los cojinetes pueden llegar a soldarse al eje impidiendo por completo su movimiento.

COMO CALCULAR EL BOBINADO PARA UN MOTOR MONOFÁSICO

Supongamos que un pequeño motor monofásico debe ser rebobinado, pero ocurre que le han quitado todos los arrollamientos. Esto hace necesario diseñar un nuevo bobinado para lo cual se procederá como sigue.

1) Se observará la placa de características del motor obteniéndose por ejemplo los siguientes datos:

Potencia 1/20 HP - Tensión 220v - Frecuencia 50 c/s- Velocidad 1450 r.p.m.

Siendo la velocidad 1450 r.p.m, se deduce que el motor debe llevar, cuatro polos ya que la velocidad sincrónica para una frecuencia de 50 c/s y cuatro polos es 1500 r.p.m. debiéndose la diferencia al deslizamiento. En

caso de no contar con la plaqueta de características, la máxima potencia que puede obtenerse del estator se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia} = \frac{\text{diámetro x diámetro x ancho x velocidad}}{1.000.000}$$

Debemos aclarar que en la fórmula anterior, nos referimos al diámetro interno del estator y ancho del mismo tal como puede apreciarse en la figura 39, además para obtener la potencia en H.P., el diámetro debe considerarse en centímetros al igual que el ancho.

2) Cálculo del flujo por polo: Debemos determinar la magnitud del flujo que puede conducir sin saturarse el hierro entre la base de las ranuras y la cara exterior del estator. Este flujo se calcula con la siguiente fórmula con la siguiente fórmula:

$$\text{Flujo} = 24.000 \times B \times \text{ancho}$$

correspondiendo los factores B y ancho a lo indicado en la figura 40, medidos en centímetros. En nuestro caso B = 1 cm y el ancho = 4,1, en consecuencia el flujo por polo resulta ser

$$\text{Flujo} = 24.000 \times 1 \times 4{,}1 = 98.400$$

3) Determinación de la cantidad de espiras del bobinado de trabajo: La cantidad de espiras que debe llevar el bobinado de trabajo, se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Nro de espiras} = \frac{27 \times \text{tensión} \times 1.000.000}{\text{frecuencia x flujo por polo}}$$

que en nuestro ejemplo resulta ser

$$\text{Nro de espiras} = \frac{27 \times 220 \times 1.000.000}{50 \times 98.400} = 1.200$$

por lo tanto la cantidad total de espiras de los arrollamientos de trabajo será 1200, correspondiendo a cada uno de los polos, 300 espiras por tratarse de una máquina tetrapolar.

4) Determinación de la cantidad de espiras del bobinado de arranque: Como se recordará, los bobinados de arranque deben tener alta resistencia y baja inductancia, por ese motivo la cantidad de espiras del arrollamiento de arranque es aproximadamente la mitad que la de trabajo. En nuestro caso, el número de espiras de arranque será 150 por polo ya que un polo de

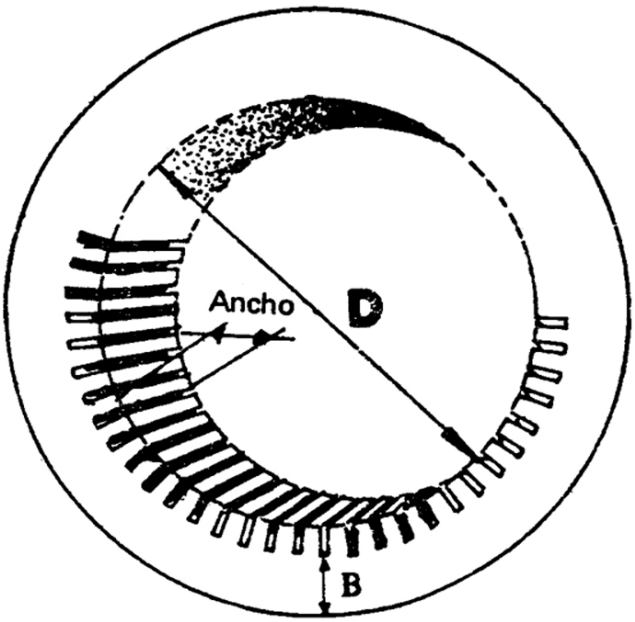


FIGURA 39 - DIMENSIONES UTILES PARA CALCULAR LA POTENCIA DEL MOTOR.

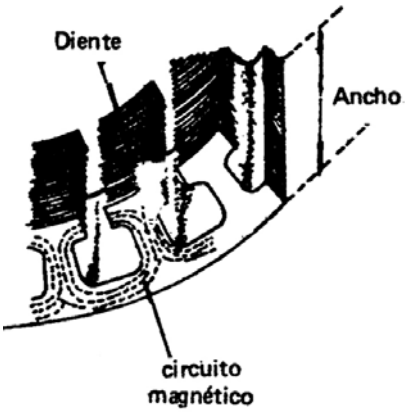


FIGURA 40 - DIMENSIONES UTILES PARA CALCULAR EL FLUJO POS-POLO.

trabajo posee 300 espiras. La cantidad de espiras calculada para los polos de trabajo y arranque, deben ser distribuídas de acuerdo al diagrama elegido dentro de las posibilidades que correspondan a un motor de 24 ranuras y 4 polos, ya que el estator en nuestro caso, tiene 24 ranuras.

5) Cálculo del diámetro de los alambres: Para calcular el diámetro del alambre a utilizar para el arrollamiento de trabajo, es necesario conocer el valor de la corriente requerida por el motor. Este dato se obtiene en base a

la potencia y a la tensión de trabajo de la máquina. Se aplica la siguiente fórmula práctica:

$$\text{Intensidad} = \frac{1800 \times \text{Potencia}}{\text{tensión}}$$

en nuestro caso resulta ser

$$\text{Intensidad} = \frac{1800 \times 1/20}{220} = 0{,}4 \text{ Amper}$$

Para no producir recalentamiento en los bobinado, se aconseja no sobrepasar los tres Amperes por milímetro cuadrado, por lo tanto la sección será en nuestro caso:

$$\text{Sección} = \frac{\text{corriente en los arrollamientos de trabajo}}{3}$$

$$\text{Sección} = \frac{0{,}4}{3} = 0{,}13 \text{ mm}^2$$

Conocida la sección del conductor, podemos conocer el diámetro valiéndonos de la tabla contenida en la figura 41, dado que 0,13 no figura en la columna «Sección m/m²» elegimos el valor inmediato superior, o sea, 0,1590 al que corresponde un diámetro de 0,45 mm.

Para el diámetro de los bobinados de arranque se considera prácticamente un valor equivalente a la mitad del obtenido para los bobinados de trabajo.

COMO CALCULAR EL BOBINADO PARA UN MOTOR TRIFÁSICO

Como en el caso anterior, debemos suponer que un motor trifásico debe ser rebobinado, si éste no posee sus arrollamientos, será necesario diseñar un nuevo bobinado para el cual se procederá como sigue:

1) Se observará la placa de características del motor obteniéndose los siguientes datos:

Potencia H.P. - Tensión de fase 220 v - Frecuencia 50 c/s - Velocidad 1000 r.p.m

El dato «velocidad» nos permite establecer que se trata de una máquina de seis polos.

En caso de no contar con la plaqueta de características, la máxima potencia que puede obtenerse del

ϕ m/m	Sección m/m²	ϕ m/m	Sección m/m²
0.05	0.00196	1.30	1.3273
0.06	0.00283	1.35	1.4314
0.07	0.00385	1.40	1.5394
0.08	0.00503	1.45	1.6513
0.09	0.00636	1.50	1.7671
0.10	0.00785	1.55	1.8869
0.11	0.0095	1.60	2.0106
0.12	0.0113	1.65	2.1382
0.13	0.0133	1.70	2.2698
0.14	0.0154	1.75	2.4053
0.15	0.0177	1.80	2.5447
0.16	0.0201	1.85	2.6880
0.18	0.0255	1.90	2.8353
0.20	0.0314	1.95	2.9865
0.22	0.0380	2.00	3.1416
0.25	0.0491	2.10	3.4636
0.30	0.0769	2.20	3.8013
0.35	0.0962	2.30	4.1548
0.40	0.1257	2.40	4.5239
0.45	0.1590	2.50	4.9087
0.50	0.1963	2.60	5.3093
0.55	0.2376	2.70	5.7256
0.60	0.2827	2.80	6.1580
0.65	0.3318	2.90	6.6052
0.70	0.3848	3.00	7.0686
0.75	0.4418	3.20	8.0425
0.80	0.5027	3.50	9.6211
0.85	0.5674	3.80	11.3412
0.90	0.6362	4.00	12.5664
0.95	0.7086	4.50	15.9043
1.00	0.7854	5.00	19.6350
1.05	0.8659	6.00	28.2744
1.10	0.9503	7.00	38.4846
1.15	1.0387	8.00	50.2656
1.20	1.1310	9.00	63.6174
1.25	1.2272	10.00	78.5400

FIGURA 41 - TABLA DE VALORES DE ALAMBRE DE COBRE.

estator, se calcula utilizando la misma fórmula que en los mo-tores monofásicos.

2) Cálculo del flujo por polo: Se utiliza la misma fórmula que en otros motores monofásicos,

$$\text{Flujo} = 24.000 \times 1 \times 8 = 192.000$$

Si suponemos que los valores de B y ancho son respectivamente 1 cm y 8 cms, el flujo resultará ser

$$\text{Flujo} = 24.000 \times 1 \times 8 = 192.000$$

Una vez calculado el flujo por polo, pasamos a determinar la

3) Cantidad de espiras por fase: Aplicamos una fórmula similar al caso anterior,

$$\text{Nro de espiras por fase} = \frac{27\text{x tensión de fase x } 1.000.000}{\text{frecuencia por flujo por polo}}$$

en nuestro caso

$$\text{Nro de espiras por fase} = \frac{27 \text{ x } 220 \text{ x } 1.000.000}{50 \text{ x } 192.000} = 618$$

Suponiendo que el estator tiene 36 ranuras y queremos realizar un bobinado imbricado, con un solo lado de bobina por ranura, cada fase tendrá una bobina por polo. Por tratarse de un motor de seis polos, tendremos seis bobinas por fase.

Si el número de espiras por fase es 618, cada bobina estará formada por 103 espiras.

4) Cálculo del diámetro del alambre: Para calcular el diámetro del alambre a utilizar, se hace necesario conocer el valor de la corriente requerida por cada fase del motor, prácticamente esta corriente puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$\text{Intensidad por fase} = \frac{600 \text{ x Potencia}}{\text{tensión de fase}}$$

$$\text{Intensidad por fase} = \frac{600 \text{ x } 1/2}{220} = 1{,}4 \text{ Amper}$$

Con el fin de no producir recalentamiento en los bobinados, se mantiene el límite de tres Amperes por milímetro cuadrado de sección, por lo tanto la sección es:

$$\text{Intensidad por fase} = \frac{600 \text{ x Potencia}}{\text{tensión de fase}}$$

para que la tabla de la figura 41 determine por aproximación, 0,80 mm.

Finalizamos el tema destacando que en el cálculo de motores se han utilizado fórmulas prácticas que en su resultado difieren muy poco de las utilizadas con fines estrictamente teóricos.

EJERCICIOS DE AUTOEVALUACION BOBINADOS - ENVIO 5

1) En el bobinado de motores eléctricos

a) Todas las ranuras pueden quedar libres. ( )

b) Algunas ranuras pueden quedar libres. ( )

2) Los bobinados más comunes en las máquinas eléctricas son del tipo

a) Concentrados. ( )

b) Distribuidos. ( )

3) Los bobinados de barras se usan en estatores que trabajan

a) Con tensiones bajas. ( )

b) Con tensiones altas. ( )

4) En las máquinas multipolares, durante toda una vuelta del campo magnético se cumple

a) Un ciclo de corriente inducida. ( )

b) Más de un ciclo de corriente inducida. ( )

5) En los bobinados trifásicos imbricados de dos capas, los dos lados de bobina están ubicados

a) En la parte superior de las ranuras. ( )

b) Un lado se ubica en la parte inferior de una ranura y el otro lado en la parte superior de otra ranura. ( )

6) Los bobinados de rotor imbricados son para máquinas

a) De baja potencia. ( )

b) De alta potencia. ( )

7) En lo posible, los ensayos sobre motores de fase partida deben realizarse

a) antes de barnizar el motor. ( )

b) después de barnizar el motor. ( )

8) Al controlar un estator con un zumbador, si la lámina metálica vibra

a) Existen espiras en cortocircuito. ( )

b) No existen espiras en cortocircuito. ( )

9) Si el arrollamiento de arranque de un motor de fase partida está interrumpido

a) El motor arranca lentamente. ( )

b) El motor no arranca. ( )

10) Si al realizar el ensayo del capacitor de arranque de un motor, los fusibles se queman

a) El capacitor está abierto. ( )

b) El capacitor está en cortocircuito. ( )

11) Si durante la marcha de un motor trifásico se quema uno de sus fusibles

a) El motor se detiene. ( )

b) El motor funciona ruidosamente. ( )

12) Por una falta de lubricación el sobrecalentamiento de los cojinetes

a) Pueden detener la marcha del motor. ( )

b) No pueden detener la marcha del motor. ( )

EJERCICIOS DE AUTOEVALUACION
BOBINADOS
RESPUESTAS

1 - B

2 - B

3 - A

4 - B

5 - B

6 - A

7 - A

8 - A

9 - B

10 - B

11 - B

12 - A